

**Weiterführende
Untersuchungen zum
hochenergetischen
Versagen elektrischer
Einrichtungen mit
sicherheitstechni-
scher Bedeutung in
Kernkraftwerken**

Weiterführende
Untersuchungen zum
hochenergetischen Versagen
elektrischer Einrichtungen mit
sicherheitstechnischer
Bedeutung in
Kernkraftwerken

Marina Röwekamp
Burkard Forell
Steffen Katzer (GL Bautechnik GmbH)
Joachim Klindt (GL Bautechnik GmbH)

Oktober 2011

Auftrags-Nr.: 811996

Anmerkung:

Das diesem Bericht zu Grunde liegende FE-Vorhaben 3609R01310 wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Auftragnehmer.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers übereinstimmen.

Kurzfassung

In der Vergangenheit hat es sowohl in kerntechnischen Anlagen im Ausland als auch in deutschen Kernkraftwerken eine nicht unerhebliche Anzahl von zumeist explosionsartig verlaufenden anlageninternen Brandereignissen infolge eines hochenergetischen Versagens elektrischer Einrichtungen gegeben, wobei es sich häufig um Schaltanlagen oder Transformatoren, aber auch um Kabel auf höheren Spannungsebenen handelte.

National wie international hat sich bei der Auswertung der Betriebserfahrung aus Kernkraftwerken die sicherheitstechnische Bedeutung solcher Ereignisse mit HEAF (*high energy arcing faults*) herausgestellt. Dies hat dazu geführt, solche Ereignisse, ihre Schadensmechanismen und Ursachen in Deutschland wie auch international im Rahmen einer Task der OECD Nuclear Energy Agency (NEA) zu untersuchen.

Die Auswertung der deutschen Betriebserfahrung zu HEAF-Ereignissen in Kernkraftwerken anhand eines speziell dafür entwickelten Fragenkataloges hat insgesamt eine nicht unerhebliche Anzahl von 31 Ereignissen mit hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten aufgezeigt. Dabei hat sich herausgestellt, dass ein HEAF nur an ganz bestimmten Komponenten zu erwarten ist. Dabei handelt es sich vorwiegend um Schaltanlagen und Transformatoren, aber auch um Kabel oder Anschlusskästen auf unterschiedlichen Spannungsebenen im Bereich zwischen 0,4 kV und 400 kV.

Alle in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen HEAF-Ereignisse wurden innerhalb kurzer Zeit detektiert und über Störmeldungen signalisiert. Bei einer relevanten Rauchentwicklung erfolgte eine Alarmierung über die Brandmeldeanlage. Bei allen HEAF-Ereignissen in deutschen Anlagen war die Redundanztrennung sichergestellt, durch das explosionsartige Versagen kam es nicht zu einer Beeinträchtigung der ordnungsgemäßen Funktion brandschutztechnischer Einrichtungen und Abtrennungen oder zu einer unzulässigen Beeinträchtigung weiterer Komponenten.

Als Ursachen für solche HEAF-Ereignisse haben sich vorwiegend technische Ursachen herausgestellt, gefolgt von menschlichen Fehlhandlungen. Alterungserscheinungen und Fehler in Prozeduren spielen zusammen mit anderen Gründen ebenfalls eine Rolle bei dieser Art des Komponentenversagens.

Zu einer besseren Vermeidung hochenergetischer Versagenserscheinungen wird bzw. wurde mittlerweile in den deutschen Kernkraftwerken bereits eine Vielzahl sinnvoller Maßnahmen ergriffen.

Aufgrund der mittlerweile in den an der Task 'OECD HEAF' beteiligten Ländern nachgewiesenen nicht unerheblichen sicherheitstechnischen Bedeutung von HEAF-Ereignissen mit dem Potential anlageninterner Brände sollen im Rahmen eines experimentellen OECD-Versuchsprogramms die Entstehungsmechanismen und die daraus folgenden Schädigungen und deren Mechanismen vertieft analysiert werden. Diese Versuche an real in Kernkraftwerken installierten Komponenten mit einem HEAF-Potential werden bei Sandia National Laboratories (SNL) in den USA stattfinden.

Die an der Task 'OECD HEAF' beteiligten Mitgliedsländer werden sich an diesen experimentellen Untersuchungen dahingehend beteiligen, dass sie entsprechend geeignete Komponenten für die Versuche zur Verfügung stellen. Auf der Basis des im Rahmen des BMU-Vorhabens 3609R01310 ausgewerteten Fragenkataloges /KAT 11/ werden aus deutscher Sicht für die dort als besonders anfällig für HEAF identifizierte Komponenten, wie Hochspannungsschalter, Hoch- und Mittelspannungstransformatoren und Leistungskabel (Spannungsebene > 400 V), vertiefte, experimentelle Untersuchungen zielführend erachtet.

Aufbauend auf den Ergebnissen der vertieften Untersuchungen sollen dann ein Instrumentarium zur Bewertung des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten mit möglicher Brandfolge bereit gestellt und aus den nach Auswertung der Versuchsergebnisse zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnissen möglichst auch Empfehlungen zur Vorbeugung und Vorsorge gegen HEAF-Ereignisse abgeleitet werden. Damit sollen die OECD-Aktivitäten mit den vertieften Untersuchungen der HEAF-Phänomene zu einer Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik bzgl. HEAF beitragen.

Abstract

In the past, a non-negligible number of mostly explosive plant internal fire events due to high energy arcing equipment faults have occurred in nuclear facilities in foreign countries as well as in nuclear power plants in Germany. The faults typically occurred at higher voltage switchgears or transformers as well as at high voltage cables.

The safety significance of such HEAF (*high energy arcing faults*) events has been demonstrated by evaluating the operating experience from nuclear power plants on a national as well as international basis. This has resulted in initiating a task by OECD Nuclear Energy Agency (NEA) for in-depth investigations on this type of events in Germany and other NEA member states, their damage mechanisms and root causes.

The analysis of the operating experience from German nuclear power plants with respect to HEAF events based on a questionnaire specifically developed has provided in total 31 events with high energy arcing equipment faults. The investigations demonstrate that HEAF only occur at a few specific components such as switchgears and transformers, but also at cables and distribution connections on typical voltage levels between 0,4 kV and 400 kV.

All HEAF events having occurred at German nuclear power plants were detected within a short time period and signaled via fault indications. In case of a relevant release of smoke there was a fire alarm by the fire detection system. The separation of redundant trains was ensured in case of all the German events. Neither the required function of fire protection means nor additional components were impaired by the explosive failure.

Technical causes have been found to be the major root causes for the high energy arcing faults. Other causes are human failure, ageing and faulty procedures in combination with other root causes.

For improving nuclear safety with respect to high energy arcing faults a variety of reasonable preventive measures have already been taken or are to be taken in German nuclear power plants.

Due to the safety significance of HEAF events with the potential of plant internal fires already demonstrated in those countries participating in the task 'OECD HEAF' the initiation mechanisms and the resulting damages shall be investigated in more detail. The intended experiments on HEAF components as installed in nuclear power plants will be performed by Sandia National Laboratories (SNL) in the USA.

The member countries of the task 'OECD HEAF' will participate in this test series by providing adequate components to be tested.

Based on the questionnaire /KAT 11/ and its results gained in the frame of the BMU funded project 3609R01310 those components having been identified as typical HEAF components from the German point of view, such as high and medium voltage transformers as well as power cables (on a voltage level ≥ 400 V) in-depth experimental investigations are assumed to be useful.

Based on the results of these in-depth investigations an approach for assessing high energy arcing faults with potential consequential fires shall be provided and recommendations for prevention and mitigation of HEAF events in nuclear installations be given. By this means, the OECD activities including the in-depth investigations of HEAF phenomena shall contribute to enhance the state-of-the-art on HEAF significantly.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Erkenntnisse aus der deutschen Betriebserfahrung aus Kernkraftwerken mit HEAF-Ereignissen	4
2.1	Auswertung der deutschen Betriebserfahrung anhand des Fragebogens zu HEAF-Ereignissen in Kernkraftwerken.....	4
2.1.1	Ereignis 01	11
2.1.2	Ereignis 02	14
2.1.3	Ereignis 03	18
2.1.4	Ereignis 04	26
2.1.5	Ereignis 05	29
2.1.6	Ereignis 06	32
2.1.7	Ereignis 07	35
2.1.8	Ereignis 08	39
2.1.9	Ereignis 09	43
2.1.10	Ereignis 10	46
2.1.11	Ereignis 11	50
2.1.12	Ereignis 12	54
2.1.13	Ereignis 13	58
2.1.14	Ereignis 14	62
2.1.15	Ereignis 15	65
2.1.16	Ereignis 16	69
2.1.17	Ereignis 17	72
2.1.18	Ereignis 18	75
2.1.19	Ereignis 19	78
2.1.20	Ereignis 20	82
2.1.21	Ereignis 21	85
2.1.22	Ereignis 22	88
2.1.23	Ereignis 23	91

2.1.24	Ereignis 24	94
2.1.25	Ereignis 25	97
2.1.26	Ereignis 26	100
2.1.27	Ereignis 27	103
2.1.28	Ereignis 28	106
2.1.29	Ereignis 29	109
2.1.30	Ereignis 30	112
2.1.31	Ereignis 31	116
2.2	Erkenntnisse aus den in deutschen Anlagen aufgetretenen Ereignissen	119
3	Internationale Task OECD HEAF	122
3.1	Zielsetzung der Task HEAF	122
3.2	Definition von HEAF in der OECD/NEA Task Group	124
3.3	Aktuelle Erkenntnisse aus der internationalen Arbeitsgruppe OECD HEAF zu HEAF-Ereignissen in Kernkraftwerken	125
3.4	Planung eines OECD/NEA-Versuchsprogramms zur Untersuchung von HEAF	133
3.4.1	Zielsetzung und Versuchsprogramm der HEAF-Versuchsserie.....	133
3.4.2	Internationale Beteiligung am HEAF-Versuchsprogramm.....	136
3.4.3	Deutsches Interesse an einer Beteiligung an den HEAF-Versuchen.....	137
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	139
5	Referenzen.....	142
	Abbildungsverzeichnis	146
	Tabellenverzeichnis.....	147

1 Einleitung

In der Vergangenheit hat es sowohl in kerntechnischen Anlagen im Ausland als auch in deutschen Kernkraftwerken eine nicht zu vernachlässigende Anzahl von zumeist explosionsartig verlaufenden Brandereignissen infolge hochenergetischen Versagens elektrischer Einrichtungen gegeben, wobei es sich häufig um Schaltanlagen oder Transformatoren, aber auch um Kabel auf höheren Spannungsebenen handelte. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass der Begriff "explosionsartig" hier nicht im Sinne einer chemischen Explosion verwendet wird. National hat sich bei der Auswertung der Betriebserfahrung im BMU-Vorhaben 3607R02582 eine nicht unerhebliche Bedeutung solcher Ereignisse mit HEAF (*high energy arcing faults*) herausgestellt. Dies wurde zum Anlass genommen, solche Ereignisse, ihre Schadensmechanismen und Ursachen national wie international zu untersuchen.

International wurde zunächst eine informelle Arbeitsgruppe mit Fachleuten aus Frankreich, Belgien, den USA und Deutschland gegründet, die solche hochenergetischen Ereignissen, die im Allgemeinen mit Störlichtbögen verbunden sind, im Hinblick auf ihre mögliche Relevanz betrachtet hat, nachdem erste probabilistische Untersuchungen dazu, die seitens des französischen IRSN (*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire*) durchgeführt worden waren, eine nicht unerhebliche sicherheitstechnische Bedeutung derartiger Ereignisse mit nicht zu vernachlässigenden Beiträgen zur Kernschadenshäufigkeit aufgezeigt hatten. Bei diesen informellen Arbeitstreffen internationaler Fachleute zum Thema des hochenergetischen elektrischen Komponentenversagens (HEAF) ergab sich, dass international ein zunehmendes Interesse an vertieften Untersuchungen zur Problematik des hochenergetischen elektrischen Komponentenversagens, seinen Ursachen und de zugrunde liegenden physikalischen Phänomenen besteht. Nicht nur die französischen Auswertungen relevanter Ereignisse dieses Typs in kerntechnischen Einrichtungen im In- und Ausland sondern auch Literaturrecherchen durch Sandia National Laboratories (SNL) in den USA /BRO 08/ gaben deutliche Hinweise auf die sicherheitstechnische Bedeutung von HEAF-Ereignissen (vgl. dazu auch /ROE 08/), weshalb den Schadensmechanismen für HEAF verstärkt Bedeutung zugemessen werden sollte.

Dies führte zu einem verstärkten Interesse an dieser Thematik bei dem OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) Nuclear Energy Agency (NEA) Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI). Seitens der CSNI Program Review Group (PRG) und seiner Working Group IAGE (Integrity and Ageing) wurde dementsprechend im Frühjahr 2009 ein Vorschlag stattgegeben, eine internationale Task Group on 'High Energy Arcing Faults (HEAF)' /OEC 09/ zu gründen, mit der Aufgabe, einen State-of-the-art Report (SOAR) zu HEAF-Ereignissen und ihrer Bedeutung in kerntechnischen Anlagen zu erstellen. Die im Rahmen dieser Task erfolgte bisherige Auswertung der Betriebserfahrung aus kerntechnischen Anlagen in Kanada, Finnland, Japan, Korea, und den USA zeigt, ebenso wie eine erste diesbezügliche Anwendung der OECD FIRE Datenbank /OEC 09a/ und /BER 09/, die Bedeutung von HEAF-Ereignissen auf.

Basierend auf allen derzeit nach Stand von Wissenschaft und Technik verfügbaren und hinsichtlich einer möglichen Übertragbarkeit auf deutsche Anlagen notwendigen Informationen zu Ereignissen mit hochenergetischem Komponentenversagen in deutschen wie in ausländischen Anlagen hat die GRS mit den ausländischen Fachleuten zunächst einen international abgestimmten Fragenkatalog /ROE 07/ entwickelt und diesen dann zusammen mit Experten seitens der Germanischer Lloyd (GL) Bautechnik GmbH nach eingehenden fachlichen Diskussionen für eine Beantwortung durch die deutschen Betreiber umgesetzt /ROE 07a/. Dazu wurde dieser deutsche Fragenkatalog mit fachlich kompetenten Experten eines Kernkraftwerks, in welchem unter anderem solche Ereignisse aufgetreten waren, und mit den zuständigen Fachleuten auf Seiten der Gutachterorganisation und der Aufsichtsbehörde abgestimmt. Dieser Fragenkatalog basiert auf allen derzeit nach Stand von Wissenschaft und Technik verfügbaren und hinsichtlich einer möglichen Übertragbarkeit auf deutsche Anlagen notwendigen Informationen zu Ereignissen mit hochenergetischem Komponentenversagen in deutschen wie in ausländischen Anlagen.

Aufgrund der national wie international erkannten sicherheitstechnischen Bedeutung von HEAF-Ereignissen mit dem Potential von anlageninternen Bränden sind diese Ereignisse hinsichtlich der Übertragbarkeit von Ursachen auf alle deutschen Anlagen untersucht worden. Dazu gehören neben der Ursachenermittlung der jeweiligen Ereignisse auch die Klärung spezieller Fragen, wie das mögliche Versagen von Brandabschlüssen bei Druckaufbau aufgrund des Brandes, die Entrauchung im Schaltanlagengebäude sowie Möglichkeiten redundanzübergreifender Auswirkungen bei dem hoch-

energetischen Versagen einzelner Schaltanlagen und anderer elektrischer Einrichtungen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Auswertung soll international ein Instrumentarium zur Bewertung des hochenergetischen Komponentenversagens und seiner Folgewirkungen entwickelt werden.

Im Rahmen der Mitwirkung an der internationalen OECD Task sollte eine präzise Definition des hochenergetischen elektrischen Versagens gegeben werden und ein ausgiebiger Erfahrungsaustausch von Informationen zu Erkenntnissen aus der jeweiligen nationalen Betriebserfahrung, aber auch aus Forschung und Entwicklung zu dieser Thematik sowie zu aufsichtlichen Erkenntnissen auf internationaler Basis erfolgen. Eine weitere Aufgabe der Task Group 'OECD HEAF' besteht darin, die physikalischen und chemischen Phänomene bei HEAF zu untersuchen und als dynamische Vorgänge zu charakterisieren. Als ein mögliches Ergebnis der Task sollen zum einen einfache Modelle bzw. deterministische Korrelationen für eine Vorhersage möglicher Schadensbereiche entwickelt und ggf. die Notwendigkeit weiterführender Versuche und Forschungsarbeiten zu diesem Themenbereich aufgezeigt werden. Insgesamt soll die Mitwirkung an dieser Task der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik dienen.

2 Erkenntnisse aus der deutschen Betriebserfahrung aus Kernkraftwerken mit HEAF-Ereignissen

2.1 Auswertung der deutschen Betriebserfahrung anhand des Fragebogens zu HEAF-Ereignissen in Kernkraftwerken

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen Ereignisse mit hochenergetischem Versagen elektrischer Komponenten gegeben. Die Auswertung der nationalen Betriebserfahrung hat insgesamt 31 Ereignisse mit HEAF ergeben (siehe Tab. 2-1). Dies beinhaltet zum Teil bereits in /ROE 09/ erfasste Ereignisse, teilweise mussten aus der damaligen Aufstellung aber Ereignisse wieder herausgenommen werden, da sich bei den Fachdiskussionen mit Fachleuten aus den jeweils betroffenen Ereignissen und den zuständigen Gutachtern ergab, dass es sich hierbei letztendlich doch nicht um HEAF-Ereignisse entsprechend der internationalen Definition handelt. Weitere Ereignisse wurden nach Beantwortung des Fragebogens durch die Betreiber ergänzt.

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass einige Ereignisse, die zunächst noch bei der Auswertung der deutschen Betriebserfahrung im Vorhaben 3607R02582 in /ROE 09/, Tabellen 3-1 und 3-2 aufgeführt wurden, mittlerweile aus der Auswertung herausgenommen wurden. Gründe dafür sind, dass es sich entweder bei der betroffenen Anlage nicht um ein kommerziell betriebenes Kernkraftwerk sondern um einen größeren Versuchsreaktor, wie beispielsweise den KNK II, handelt oder dass die damals zunächst als HEAF eingestuft Ereignisse nach eingehender Überprüfung keine HEAF entsprechend der Definition darstellen.

Die weiterführenden und detaillierten Untersuchungen haben ergeben, dass es sich bei den in /ROE 09/ aufgeführten Ereignissen am 08.05.2004 (GER15), am 10.09.2003 (GER15), am 05.05.2001 (GER14) und am 20.07.1999 (GER18) nicht um Ereignisse mit hochenergetischen Versagenserscheinungen handelt.

Tab. 2-1: HEAF-Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken

Nr.	Ereignisdatum	Anlage	Type	Anlagenbetriebszustand	Vom HEAF betroffene Komponente	Schaden auf Komponente begrenzt	Explosion	Brand	Barriere betroffen	Ereignisursache
01	04.07.2009	GER14	SWR	FP	HV-Transformator (400 kV-Maschinentransformator, ölgefüllt)	ja	nein	nein	nein	technisch, Alterung
02	14.03.2008	GER03	DWR	FP	Leistungsschalter (660 V)	ja	nein	ja	nein	technisch
03	28.06.2007	GER14	SWR	FP	HV-Transformator (400 kV-Maschinentransformator)	ja	ja	ja	nein	technisch, Alterung
04	18.01.2007	GER10	DWR	FP	HV-Transformator 380 kV-Maschinentransformator)	ja	nein	nein	nein	technisch
05	25.10.2006	GER14	SWR	FP	Motoranschlusskasten (660 V)	ja	nein	nein	nein	technisch
06	18.08.2006	GER14	SWR	LPSD	Motoranschlusskasten (660 V)	ja	nein	nein	nein	technisch
07	16.02.2006	GER09	SWR	FP	Schaltanlage (380 V-Schaltanlagen-einschub)	ja	nein	nein	nein	technisch

Nr.	Ereignis- datum	Anlage	Type	Anlagen- betriebs- zustand	Vom HEAF betroffene Komponente	Schaden auf Komponente begrenzt	Explosion	Brand	Barriere betroffen	Ereignis- ursache
08	15.06.2005	GER09	SWR	LPSD	HV-Schaltanlage (6 kV)	ja	nein	nein	nein	technisch
09	14.10.2004	GER27	DWR	LPSD	HV-Schaltschrank, 6 kV-Leitung	ja	nein	nein	nein	menschlich
10	23.08.2004	GER09	SWR	FP	HV-Kabel (10 kV)	ja	nein	ja	nein	Alterung, technisch
11	16.08.2003	GER18	DWR	LPSD	Leistungsschalter (Einspeisung 500 V)	ja	nein	nein	nein	menschlich
12	30.10.2002	GER09	SWR	FP	Schaltanlage (400 V)	nein	ja	ja	nein	technisch, menschlich
13	11.08.2002	GER17	DWR	FP	Schaltanlage (500 V)	nein	nein	ja	nein	technisch
14	06.03.2001	GER14	SWR	FP	Schaltanlage (660 V)	ja	nein	nein	nein	technisch
15	10.11.1998	GER10	DWR	FP	Leistungsschalter (660 V)	nein	nein	nein	nein	technisch
16	08.02.1996	GER17	DWR	FP	Schaltschrank (500 V-Sammel- schiene, Schaltein- schub)	ja	nein	ja	nein	unbekannt

Nr.	Ereignis- datum	Anlage	Type	Anlagen- betriebs- zustand	Vom HEAF betroffene Komponente	Schaden auf Komponente begrenzt	Explosion	Brand	Barriere betroffen	Ereignis- ursache
17	05.- *05.1992	GER04	DWR	LPSD	Motorgenerator (reversibel)	ja	nein	nein	nein	technisch
18	08.09.1989	GER01	DWR	LPSD	HV-Schaltanlage (10 kV, Einspeisezelle)	ja	nein	ja	nein	technisch
19	17.05.1989	GER25	DWR	LPSD	Schaltanlage (380 V-Schaltanlage, Einspeisefeld)	ja	nein	ja	nein	technisch, menschlich
20	19.04.1988	GER24	DWR	FP	Spannungs-Strom- Wandler (220 kV-Schaltanlage)	nein	ja	ja	nein	technisch
21	09.09.1987	GER22	SWR	FP	Schaltschrank (Notstromdiesel- aggregat)	nein	ja	ja	ja	technisch, menschlich
22	06.02.1987	GER01	DWR	FP	Pumpenmotor	ja	nein	nein	nein	technisch
23	30.05.1986	GER11	DWR	LPSD	Sammelschiene (380 V)	nein	nein	ja	nein	unbekannt
24	08.06.1984	GER28	SWR	LPSD	HV-Schaltanlage (30 kV-Seile)	ja	nein	nein	nein	menschlich

Nr.	Ereignisdatum	Anlage	Type	Anlagenbetriebszustand	Vom HEAF betroffene Komponente	Schaden auf Komponente begrenzt	Explosion	Brand	Barriere betroffen	Ereignisursache
25	17.02.1981	GER01	DWR	FP	Pumpenmotor (Sicherheitseinspeisepumpe)	ja	nein	nein	nein	technisch
26	11.08.1979	GER27	DWR	LPSD	Leistungsschalter (Unterverteilung)	ja	nein	ja	nein	technisch
27	13.07.1979	GER28	SWR	LPSD	Schaltanlage	ja	nein	nein	nein	menschlich
28	11.01.1979	GER23	DWR	LPSD	Schütz	ja	nein	nein	nein	Prozeduren, technisch, menschlich
29	25.05.1978	GER27	DWR	LPSD	Generatorschalter (220 kV-Schaltanlage)	ja	nein	nein	nein	technisch
30	31.10.1977	GER24	DWR	LPSD	Schaltanlage (Sammelschiene in 380 V-Schaltschrank)	ja	nein	nein	nein	menschlich
31	28.09.1977	GER15	SWR	LPSD	Schaltanlage (NS-Not-Schaltanlage)	ja	nein	nein	nein	technisch, Prozeduren

Abkürzungen:

DWR: Druckwasserreaktor

SWR: Siedewasserreaktor

FP: Leistungsbetrieb (englisch: full power)

LPSD: Nichtleistungsbetrieb (englisch: low power and shutdown)

HV: Hochspannung (englisch: high voltage)

2.1.1 Ereignis 01

GER14 – Ereignis am 04.07.2009

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Kurzschluss in dem Maschinentransformator AT02 mit Rückwirkung auf Sicherheitseinrichtungen (RESA) am 04.07.2009 Kurzschluss im Maschinentransformator AT02 (400 kV) im Außenbereich des Kraftwerksgeländes
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Schädigung des Maschinentransformators AT02
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Aufstellungsbereich der Transformatoren im Außenbereich des Kraftwerksgeländes neben dem Maschinenhaus
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	ölgefüllter Transformator 400 kV
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	400 kV

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentensversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Störmeldungen (Ausfall der Eigenbedarfsversorgung, Reaktorschnellabschaltung)
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
-
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Beschädigung des Transformators, Reaktorschnellabschaltung
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
begrenzt auf der Transformatorbereich
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	entfällt
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Kurzschluss innerhalb des Transformators – Alterung
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	technische Ursache – vermutlich in Verbindung mit Alterung
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	Austausch des Transformators

2.1.2 Ereignis 02

GER03– Ereignis am 14.03.2008

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	<p>Störungsbedingter Ausfall eines Leistungsabzweiges durch Lichtbogeneinwirkung mit Rückwirkung auf Sicherheitsteileinrichtungen am 14.03.2008</p> <p>Lichtbogen aufgrund nicht korrekter Stellung der Schaltkontakte, vermutlich durch Fremdkörper an 3WE – Leistungsschalter (660V – Schaltanlage FB) im Raum ZE 0386 – länger anhaltender Lichtbogen</p>
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	<p>Lichtbogen, Leistungsschalterkontakt im Einschub verschmolzen, Sammelschiene und Nachbarfelder der Schaltanlage FB verrußt, Ansprechen Rauchmelder (insgesamt 6 Melder im Raum ZE0386), Schwelbrand</p>
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	<p>Schaltanlagegebäude ZE – Raum ZE 0386 – 660 V-Anlage</p>
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	<p>Leistungsschalter – 660 V</p>

5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?
660 V, 420 A
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
max. 2,5 kA, keine Schutzauslösung der Schaltanlage, Handabschaltung
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Ansprechen von Brandmeldern nach Zuschaltvorgang einer Pumpe, telefonischer Rückruf eines Mitarbeiters vor Ort
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
länger anhaltender Lichtbogen – 6 min, Handabschaltung der Schaltanlage
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Da Ausschalten der Pumpe von der Warte aus nicht möglich – Abschalten der Notstromschiene FB vor Ort, Unverfügbarkeit Nachkühlkette – Redundanz 2
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum ZE0386 – Notstromschiene FB

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Einsatz von Handfeuerlöschern durch die Werkfeuerwehr
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
6 min, Lichtbogen nach Abschaltung der Schaltanlage beendet, Feuerwehreinsatz insgesamt 30 min
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Lichtbogen aufgrund nicht korrekter Stellung der Schaltkontakte, vermutlich durch Fremdkörper
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache – vermutlich Fremdkörpereintrag

Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
verstärkte Kontrolle auf Fremdkörper bei Schaltertausch und Schulungsmaßnahmen

2.1.3 Ereignis 03

GER14 – Ereignis am 28.06.2007

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Reaktorschnellabschaltung durch kurzzeitigen Ausfall der Eigenbedarfsversorgung aufgrund Kurzschluss im Maschinentransformator am 28.06.2007 Brand des Maschinentransformators AT01 durch Kurzschluss (400 kV) im Außenbereich des Kraftwerksgeländes – Brand des Transformatoröls
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Ausbrennen und Zerstörung des Maschinentransformators AT01
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Aufstellungsbereich der Transformatoren im Außenbereich des Kraftwerksgeländes neben dem Maschinenhaus
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Ölgefüllter Transformator 400 kV
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	400 kV

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
zeitweise sowohl netz- als auch generatorseitige Einspeisung in den kurzgeschlossenen Transformator
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Störmeldungen (Ausfall der Eigenbedarfsversorgung, Reaktorschnellabschaltung) sowie Auslösung der Löschanlage
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
-
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Aufreißen des Trafos mit Beschädigung des Trafogebäudes, Reaktorschnellabschaltung, Eindringen von Brandrauch in das Schaltanlagegebäude
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
begrenzt auf den Trafobereich aber Rauchverschleppung in das Schaltanlagegebäude
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer

Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Einsatz der Werkfeuerwehr und der Freiwilligen Feuerwehr
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
ca. 3 h
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Kurzschluss innerhalb des Trafos
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache – vermutlich in Verbindung mit Alterung
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Austausch des Transformators

Das Ereignis ist nachfolgend im Detail dargestellt.

In einem norddeutschen Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor kam es am 28.06.2007 zu einem HEAF-Ereignis an einem Transformator. Ursache war ein Kurzschluss an einem Maschinentransformator auf der Spannungsebene 400 kV. Das Kraftwerk besitzt zwei Maschinentransformatoren, die an das Maschinenhaus angrenzen (siehe **Abb. 2-1**).

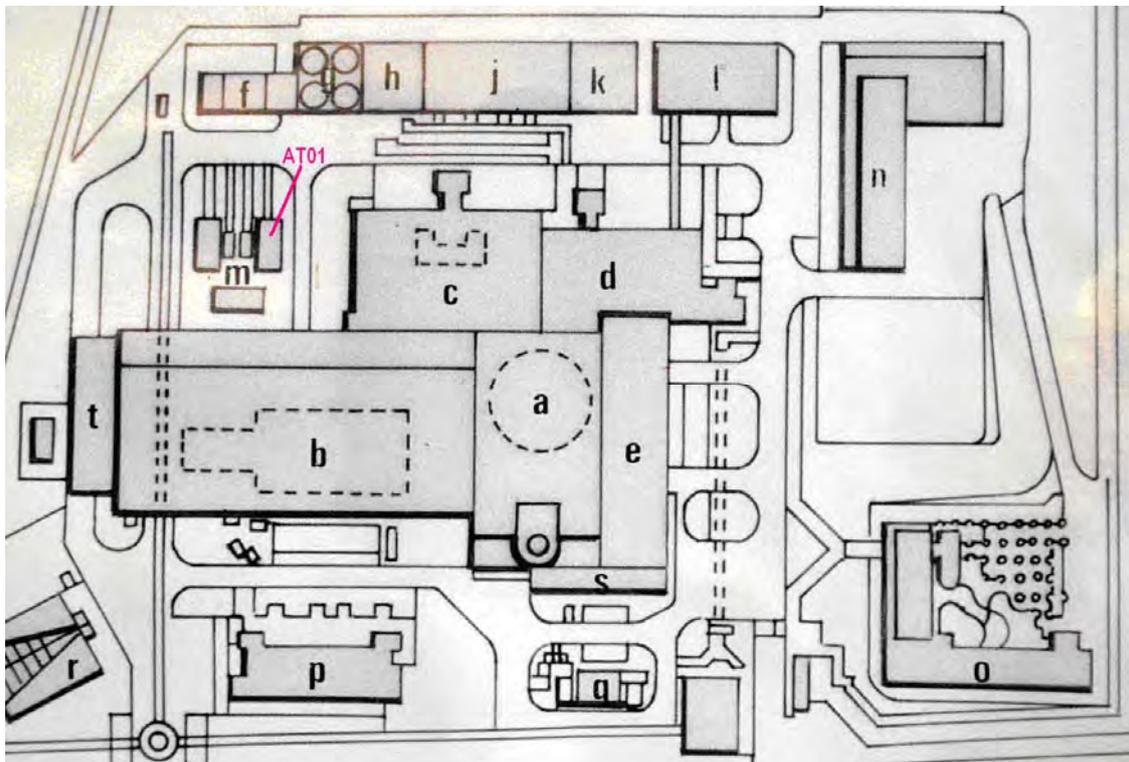


Abb. 2-1: Lageplan des Kraftwerks GER14 mit Aufstellungsort der Maschinentransformatoren

Unmittelbar nach dem Kurzschluss erfolgte eine Kesselexplosion mit nachfolgendem Brand. Der Transformator ist mit 70 t Öl gefüllt. Es sind schätzungsweise 10 - 20 t Öl ausgelaufen.

Die Sprühwasserlöschanlage löste automatisch über die Trafoschutzeinrichtung aus. Die Löschanlage arbeitete bestimmungsgemäß (Löschzeit ca. 6 Minuten), konnte das Feuer aber nicht löschen. Durch das Verbrennen des Öls kam es zu einer starken Ver Rauchung. Die in angrenzenden Bereichen befindlichen Melder der Brandmeldeanlage sprachen unverzüglich an.

Es erfolgte keine Brandübertragung in andere Bereiche. Die Löschwasserrückhaltung erfolgte bestimmungsgemäß.

Die Brandbekämpfung erfolgte durch die Werkfeuerwehr sowie die externe Feuerwehr durch gezielte Eindämmung/Löschung mittels Löschschaum am Brandherd (innerhalb des Kessels).

Der beim Kurzschluss entstandene Überdruck führte zum Aufreißen des Kessels. Danach wurde der Druck durch Öffnungen im Gebäude abgebaut. Wie hoch der tatsächliche Druck war, konnte nicht ermittelt werden. Es wurden keine Beschädigungen an Türen, Klappen und Brandschottungen festgestellt.

Der Kurzschluss führte zu keiner Brandausbreitung, und der Brand blieb auf den Aufstellbereich des Transformators AT01 begrenzt. Der Brand dauerte einschließlich Nachlöscharbeiten 2,5 Tage.

Aufgrund der Zerstörung des Transformators konnte eine eindeutige Ursachenermittlung nicht erfolgen. Es ist aber davon auszugehen, dass Alterungsprozesse eine Rolle gespielt haben.



Abb. 2-2: Brennender Maschinentransformator AT01 im Kraftwerk GER14



Abb. 2-3: Brennender Überspannungsableiter des AT01 im Kraftwerk GER14



Abb. 2-4: Starke Rauchentwicklung durch brennendes Öl am Maschinentransformator AT01 im Kraftwerk GER14



Abb. 2-5: Löscharbeiten durch die Feuerwehr



Abb. 2-6: Zerstörte Transformatorwicklung mit verschmorte Isolation



Abb. 2-7: Zerstörte Transformatorwicklung aus Kupfer



Abb. 2-8: Abtransport des zerstörten Maschinentransformators AT01 im Kernkraftwerk GER14

2.1.4 Ereignis 04

GER10 – Ereignis am 18.01.2007

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	<p>RESA infolge Erdschluss am 18.01.2007</p> <p>Lichtbogenerdschluss im 380 kV-Ableitungsbereich am Maschinentransformator BAT02</p>
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	<p>Lichtbogen im Außenbereich der Kraftwerksanlage (an der Objektschutzdurchführung), kein Brand</p>
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	<p>Außenbereich neben dem Maschinenhaus – 380 kV-Ableitung</p>
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	<p>Maschinentransformator 380 kV</p>
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	<p>380 kV, ca. 2 kA</p>

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
8,5 kA
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentensversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Wartenmeldungen – RESA, TUSA
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
0,2 s nach Abschaltung: Netzschutzkriterium
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Auslegungsgemäße RESA – Umschaltung Reservenetz
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
Es waren keine Redundanzen betroffen.
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
witterungsbedingter Erdschluss
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
witterungsbedingte/ technische Ursache
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
keine

2.1.5 Ereignis 05

GER14 – Ereignis am 25.10.2006

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Ausfall einer Nebenkühlwasserpumpe durch Kurzschluss im Motoranschlusskasten (660 V) im Raum M11.05, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Schmauchspuren (aber geschlossener Anschlusskasten)
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Kühlwasserpumpenhaus – Raum M11.05
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Motoranschlusskasten – 660 V
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	660 V
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	-

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Nichtverfügbarkeit der Pumpe
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
Schäden waren auf den Bereich des Anschlusskastens begrenzt
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
geringere Kontaktpressung zwischen den Elementen der Anschlussverbindungen durch veränderte Anzugsdrehmomente
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache – Änderung der Anzugsdrehmomente
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Austausch des Motors

2.1.6 Ereignis 06

GER14 – Ereignis am 18.08.2006

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Ausfall einer Nebenkühlwasserpumpe durch Kurzschluss im Motoranschlusskasten (660 V) im Raum M12.10, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Schmauchspuren (aber geschlossener Anschlusskasten), kein Brand
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Kühlwasserpumpenhaus M1 – Raum M12.10
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Motoranschlusskasten – 660 V
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	660 V
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	-

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
-
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Nichtverfügbarkeit der Pumpe
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
Schäden waren auf den Bereich des Anschlusskastens begrenzt
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Ursache hier noch nicht eindeutig geklärt, wahrscheinlich aber wie bei 2006/082 – geringere Kontaktpressung zwischen den Elementen der Anschlussverbindungen durch veränderte Anzugsdrehmomente
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache – Änderung der Anzugsdrehmomente
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Austausch des Motors

2.1.7 Ereignis 07

GER09– Ereignis am 16.02.2006

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Funktionsstörung am Schaltanlageneinschub einer Nebenkühlwasserpumpe am 16.02.2006 ungenügender Kontaktschluss im Schaltschütz, 380 V-Schaltanlageneinschub EW54S im Raum ZE02.04, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Schmauchspuren (aber geschlossene Einschubtür) Ansprechen von zwei Meldern (insgesamt 6 Melder im Raum ZE02.04), kein Brand
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagengebäude ZE – Raum ZE02.04 – 0,4 kV-Anlage
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltanlageneinschub – 380 V
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	380 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
ca. 36 kA
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte „Unterspannung Schiene EW“ und Ansprechen von zwei Brandmeldern
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
-
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Spannungseinbruch aufgrund Lichtbogen, Nichtverfügbarkeit der Schiene EW durch Freisaltung zur Instandsetzung
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum ZE02.04 – Schaltanlage EW

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Bruch an Führungshülsen (Kunststoff), dadurch keine parallele Kontaktbewegung – Kontakte konnten nicht ordnungsgemäß schließen.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache

Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Alle Leistungsschalter dieser Baureihe wurden ausgetauscht.

Eine ausführlichere Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.8 Ereignis 08

GER09 – Ereignis am 15.06.2005

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Funktionsstörung mit Kurzschluss an einer dezentralen 6 kV- Schaltanlage für Löscheinrichtungen am 15.06.2005 Nicht vollständiges Einfahren eines Schaltwagens des Leistungsschalters 2BX01 im Raum ZM04.04, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Beim Zuschalten der Pumpe UX02D101 nach Instandhaltungsarbeiten Kurzschluss/ Lichtbogen, an der Schaltanlage BX; Schmauchspuren (aber geschlossene Einschubtür) Rauchentwicklung und Ansprechen der zwei Meldern im Raum ZM04.04) sowie eines Melders im Raum ZM02.09, kein Brand
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Kühlwasserpumpenhaus ZM – Raum ZM04.04 – 6 kV-Anlage
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltwagen/Schalter 2BX01 der Schaltanlage BX– 6 kV
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	

6 kV
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
ca. 12 kA
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Erkennung durch Elektriker vor Ort und Meldung auf der Warte „Überstromschutzanregung“ und Ansprechen von drei Brandmeldern
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannte Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Abschaltung durch Schutzanregung (Überstrom durch hohen Stromfluss aufgrund Lichtbogen) sowie Handbetätigung von der Warte nach Rückmeldung von vor Ort
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Spannungseinbruch aufgrund Lichtbogen, Nichtverfügbarkeit der Schiene BX durch Freischaltung zur Instandsetzung – somit auch Ausfall der Feuerlöschpumpe UX02D101
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Strang BX

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Schaltwagen des Leistungsschalters 2BX01 war nicht ordnungsgemäß eingefahren (Defekt am Spezialwerkzeug zum Verriegeln des Schaltwagens, Schaltklarheit war nicht gegeben)
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache – defektes Spezialwerkzeug

Maßnahmen gegen Wiederholung

17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?

Die Schaltanlagen BX und BW für die UX-Pumpen sind vollständig getauscht worden. Durch neue technische Konzeption ist die sichere Überwachung der Schaltklarheit gegeben.

Eine ausführlichere Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.9 Ereignis 09

GER27 – Ereignis am 14.10.2004

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Schaltschrank CY02A, Verschmutzung des Schrankes, Beschädigung von Isolatoren und Kabeladern
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltschrank CY02A, Außenbereich
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom-Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	6 kV-Leitung BB nach MB, 3-poliger Kurzschluss und Lichtbogen durch Anmessen eines unter Spannung stehenden Schrankes (falsche Redundanz angemessen) sowie Verwendung eines für eine kleinere Spannung vorgesehenen Messgerätes; Personenverletzung
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	6 kV

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Wartenüberwachung und Personen im Umfeld der Schadenstelle
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt; Abschaltung durch Öffnen des Schalters BB1
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	entfällt
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	6 kV-Leitung BB nach MB, 3-poliger Kurzschluss und Lichtbogen durch Anmessen des falschen (unter Spannung stehenden) Schrankes sowie Verwendung eines für eine kleinere Spannung vorgesehenen Messgerätes
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	menschlich, Verwechslung von Redundanzen
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	Schulungen und Berücksichtigung in der Ausbildung

2.1.10 Ereignis 10

GER09 – Ereignis am 23.08.2004

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Störung der Eigenbedarfsversorgung mit Reaktorschnellabschaltung am 23.08.2004 Kurzschluss in einer Kabelverbindung vom Transformator BT11 zur 10 kV – Schaltanlage innerhalb von unterirdisch verlegten Kabelformsteinen zwischen ZE und ZK, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Etwa 1 m Kabelstrecke des 10 kV-Kabels in den Kabelformsteinen wurde zerstört. Kabelformsteine in diesem Bereich wurden zerstört und benachbarte Kabel wurden beschädigt. Raucheintrag in den angrenzenden Bereichen (Kabelkanäle des Dieselgebäudes und Schacht vor dem Schaltanlagegebäude). Ansprechen der RAS-Anlagen in ZK01.06 und ZK01.07, Brand (aufgrund der Einspeisung durch Generator)
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	erdverlegte Kabelformsteine zwischen Schaltanlagegebäude ZE und Dieselgebäude ZK – 10 kV

<p>4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?</p>	
<p>Kabel innerhalb der Kabelformsteine– 10 kV</p>	
<p>5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?</p>	
<p>10 kV</p>	
<p>6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?</p>	
<p>ca. 30 - 35 kA</p>	
<p>7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde</p>	
<p>Meldung auf der Warte "RESA" und Ansprechen von RAS-Anlagen</p>	
<p>8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)</p>	
<p>ca. 20 s / 30 – 35 kA – solange der Generator eingespeist hatte</p>	
<p>Auswirkungen</p>	
<p>9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?</p>	
<p>RESA</p>	

10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
Schäden innerhalb der Kabelformsteine
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein, Feuer verlösch selbständig (die Ablationsbeschichtung im Kabelkeller ZK01.06 war nur verrußt)
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
unwesentlich länger als Kurzschluss
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Nachträglich installierter Blitzschutz führte zu einer schlechteren Wärmeabfuhr und beschleunigte den Alterungsprozess der Kabel, welcher zu dem Ereignis führte.

16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.

technische Ursache – Alterung der Kabelisolierung

Maßnahmen gegen Wiederholung

17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?

Austausch aller 10 kV Kabel mit sicherheitstechnischer Bedeutung sowie wiederkehrende Prüfung des Isolationswiderstandes

Eine detaillierte Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.11 Ereignis 11

GER18 – Ereignis am 16.08.2003

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Kurzschluss am Schalter CU23A zur Versorgung Notstromanlage gesicherter Bereich am 16.08.2003 Kurzschluss im Leistungsschalter EV11, 500 V im Raum ZE0365, Kurzschluss – Lichtbogen, kein Brand
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Verrußung des betroffenen Schaltfeldes EV11 und leichte Verrußung der Nachbarfelder EV10/12 Schmauchspuren an den vorder- und rückseitigen Türen des Leistungsschalters, oberer Schienenkontakt abgebrannt
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude ZE – Raum ZE0365 – Leistungsschalter EV11
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Leistungsschalter EV11 – 500 V

5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?
525 V / 690 A
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
> 10,8 kA
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte, Brandmeldung
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
ca. 200 ms
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Abschaltung der 500 V – Notstromschiene EV, Komponenten der Kernnot- und Nachkühlkette der Redundanz 2 standen für ca. 8,5 Stunden nicht verfügbar. keine Unverfügbarkeit von Schutzeinrichtungen aber aufgrund Spannungslosigkeit der Notstromschiene zugeordnete Sicherheitsteilsysteme unverfügbar

10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum ZE0365 – Leistungsschaltfeld EV11 und bedingt Nachbarfelder EV10/12
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Nicht ordnungsgemäß verriegelter Leistungsschalter, der sich aus der “Eingefahren“-Position bewegt hat
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
menschlicher Einflussfaktor

Maßnahmen gegen Wiederholung

17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?

Human Factor-Analyse mit folgenden Maßnahmen:
Entfall Sicherungstift, verbesserte Beschriftung, Schulung

2.1.12 Ereignis 12

GER09– Ereignis am 30.10.2002

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Kurzschluss in der Schaltanlage mit Personenschaden am 30.10.2002 Bei Austausch eines Schaltanlageneinschubes, 0,4 kV-Schaltanlagenabzweig CB05 im Raum ZE02.06, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Stichflamme, Feuer, mittelschwere Verletzung eines Mitarbeiters, Ansprechen der zwei Meldern im Raum ZE02.06 sowie aus angrenzenden Bereichen
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude ZE – Raum ZE02.06 – 0,4 kV-Anlage
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltanlageneinschub – 0,4 kV
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	380 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
ca. 36 kA
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte „Kurzschlussmeldungen der Schienen CA, CB“ und Ansprechen von Brandmeldern
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Abschaltung durch Schutzeinrichtungen (Überstrom)
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Nichtverfügbarkeit der Schienen CA und CB (betriebliche Verbraucher (keine gesicherten Schienen))
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum ZE02.06 – Schaltanlage CB

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Löschen mit CO ₂ -Handfeuerlöscher durch den von der Warte kommenden E-Meister
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
1– 3 min (Schwelbrand)
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Verbindung technischer Fehler mit Personalfehlhandlung
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
Verbindung technischer Fehler mit Personalfehlhandlung

Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Schulungsmaßnahmen

2.1.13 Ereignis 13

GER 17 – Ereignis am 11.08.2002

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Brand in einer 500 V-Schaltanlage des UNS-Systems am 11.08.2002 wahrscheinliche Ursache – Kurzschluss durch Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, explosionsartiger Knall, Brand der nach ca. eineinhalb Stunden gelöscht worden war, Ausbrand mehrerer Schaltschränke, Ansprechen von Brandmeldern und Brandschutzklappen
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	UNS-Gebäude, 500 V-Schaltanlage EV050, Raumbereich 16221
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltanlage 500 V
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	500 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
abgeschätzt auf etwa 8 - 18 kA (eher oberer Bereich)
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Störungsmeldungen auf der Warte und Ansprechen von Brandmeldern
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Etwa 20 min nach der ersten Störmeldung wurde der Kurzschluss durch manuelles Abschalten der mittelspannungsseitigen Einspeisung von der 10 kV-Schiene beendet
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Brand an den oberhalb der Schaltfeldern verlaufenden Kabeln, durch erforderliche Freischaltung Unverfügbarkeit diverser Verbraucher
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
Brandauswirkungen begrenzt auf Schaltanlage im Raum 16221, Rauchverschleppung in angrenzende Räume der gleichen Redundanz (bis zum Schließen der BSK nach ca. 30 s), Nichtverfügbarkeit einer Notstromredundanz

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Löschen mit CO ₂ -Handfeuerlöscher durch Werkfeuerwehr
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
Nach 1,5 h war kein Brand mehr feststellbar.
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
technischer Fehler (wahrscheinlich Kontaktfehler an einem Sammelschienenabgriff)
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technischer Fehler

Maßnahmen gegen Wiederholung

17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?

Überdruckabsicherung der Schaltschränke (Überwachung der Druckentlastungsklappen der Schaltschränke)

Reduzierung des Kurzschlussschutzes am Einspeiseschalter der 500 V Schiene von 36 kA auf 14,4 kA und der Zeitverzögerung des Überstromzeitschutzes (4,32 kA) von 20 s auf 10 s

Sammelschienenschottung zwischen den Phasen durch Isolierstrecken

2.1.14 Ereignis 14

GER14 – Ereignis am 06.03.2001

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Kurzschluss in der Notstromschaltanlage am 06.03.2001 Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Schädigung des Schaltfeldes 3FC56 aufgrund Kurzschlussstromeinwirkungen
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude ZE – Raum E02.21
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltanlageneinschub – 0,66 kV
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	660 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentensversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte und Ansprechen von Brandmeldern
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
-
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Nichtverfügbarkeit der Notstromschiene 3FC
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum E02.21 – Schädigung Sammelschiene, Schaltfeld und Schaltanlageinschub
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und –maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Isolationsfehler
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technischer Fehler
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Kontrolle aller baugleicher Schaltanlageneinschübe

2.1.15 Ereignis 15

GER10 – Ereignis am 10.11.1998

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	Kurzschluss am Leistungsschalter einer Nachkühlpumpe am 10.11.1998 Kurzschluss an einem Leistungsschalter, 660 V-Schaltanlageinschub im Raum UBA03 076, Kurzschluss – Lichtbogen
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Lichtbogen, Schmauchspuren (geschlossene Einschubtür)
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude– Raum UBA03 076 – 660 V-Anlage
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Leistungsschalter – 660 V
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	660 V – 480 A

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
10,4 A nach 0,2 s
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf der Warte "Kurzschluss Sammelschieneneinspeiseschalter – Abschaltung 660 V – Verteilung BMB"
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Abschaltung durch übergeordnete Einspeiseschalter
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Auslegungsgemäße Abschaltung der 660 V-Verteilung BMB. Beschädigung Leistungsschalter und Verunreinigung des zugehörigen Schaltfeldes
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
nur Raum UBA03 076 – Schaltanlage

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
gelöste Schraubverbindung am Leistungsschalter (Schaltstück der drei Phasen) – kein ordnungsgemäßer Kontakt
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache

Maßnahmen gegen Wiederholung

17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?

Alle 3WE-Leistungsschalter der sicherheitstechnischen Verbraucher der Scheiben 2 und 6 sowie Stichproben der verbleibenden Redundanzen wurden überprüft – keine derartigen Mängel festgestellt

Inspektionsprotokolle werden entsprechend angepasst

2.1.16 Ereignis 16

GER17 – Ereignis am 08.02.1996

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Kurzschluss in einem Schalteinschub (500 V) mit der Folge eines Entstehungsbrandes im Schaltschrank
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Hilfsanlagegebäude, Raum 2301
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	500 V-Sammelschiene EX, Schalteinschub des Umluftgebläses TL21
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	500 V
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Wartenmeldung, Auslösung Brandmelder
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
Keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
Ja

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Schwelbrand im Schaltschrank wurde durch die WF mit CO ₂ -Feuerlöschern bekämpft
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
17 min
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Der Zerstörungsgrad des Schalteinschubs macht eine detaillierte Ursachenklärung unmöglich; es sind Hinweise erkennbar, wonach es sich um einem Leiterbruch der links im Einschub liegenden Phase (R) handelt, der in Folge des hohen Anlaufstroms zu einer Weiterleitung des Lichtbogens zu den anderen drei Phasen führte
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
unbekannt
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
keine, da "Zufallsfehler"; allerdings "stichprobenweise Kontrolle vergleichbarer Bauteile"

2.1.17 Ereignis 17

GER04– Ereignis am 05.05.1992

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Kurzschluss am Schleifring der Synchronmaschine des RMG1A; am Pultsteller Siebdrossel, Diode und Nebenwiderstand infolge Überlastung zerstört
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Reaktorgebäude, Elektrische Betriebsräume E115 sowie E317, Reversibler Motor-generator 1A (RMG1A)
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Reversibler Motorgenerator 1A (RMG1A), Kurzschluss am Schleifring (E115), Zerstörung von Siebdrossel, Diode und Nebenwiderstand am Pultsteller (E317)
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Schutzanregung (Auslösung des Gleichstromleistungsschalters am RMG1A) sowie Rauchentwicklung im Automatikschrank
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt.; durch Kurzschlussauslösung automatisch getrennt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	entfällt
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Schleifringkurzschluss, vermutlich durch Fremdkörper
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	unbekannt
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	visuelle Kontrollen der Schleifringe

2.1.18 Ereignis 18

GER01 – Ereignis am 08.09.1989

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Kurzschluss an 10 kV-Eigenbedarfsschaltanlage an der Einspeisestelle der 220 kV-Versorgung
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude, Raum ZE0110
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Einspeisezelle der 10 kV-Eigenbedarfsschaltanlage
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	220 kV
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Brandmelder
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
nach 6 s Schutzabschaltung durch 220 kV Hauptnetz-Einspeiseschalter
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Brand wurde durch WF mit Pulver- und CO ₂ -Löschern innerhalb von 15 min bzw. 23 min (je nach Quelle) gelöscht
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
15 bzw. 23 min (je nach Quelle)
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Vermutung: Wandlerfehler oder Fremdkörpereintrag (Kupferdraht)
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technisch
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
keine

2.1.19 Ereignis 19

GER25 – Ereignis am 17.05.1989

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Schaden durch stehenden Lichtbogen wurde auf das betroffene Einspeisefeld FJ beschränkt
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude FJ01
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	380 V-Schaltanlage FJ, FJ01, Kabelanschluss, Komponente N1960
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	380 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
Nachdem sich der Lichtbogen stabilisiert hatte, brannte er mit einer Stärke unterhalb des Ansprechwertes des Schutzrelais.
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Brandmelder
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt; nachdem sich der Lichtbogen stabilisiert hatte, brannte er mit einer Stärke unterhalb des Ansprechwertes des Schutzrelais
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Brand wurde durch anwesendes Personal mit insgesamt vier CO ₂ -Feuerlöschern gelöscht
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
12 min
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Ein am Schalter befestigter metallischer Betätigungshebel für den Handaufzug eines Kraftfederspeichers hatte sich gelöst und war in das Schaltfeld gefallen
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technisch, menschlich

Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Betätigungshebel der gleichen Schalter wurden entfernt

2.1.20 Ereignis 20

GER24 – Ereignis am 19.04.1988

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja, Kurzschluss in der 220 kV/380 kV-Hochspannungsanlage mit nachfolgendem Notstromfall
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Zerstörung eines Wandlers
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Außengelände (Freiluftschaltanlage)
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Wandler 20AD01 in der Phase S der 220 kV-Freiluftschaltanlage
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	220 kV
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Wartenmeldungen
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannte Dauer, aufgrund des Fehlers im Schaltfeld schaltete der Leitungsschutz die 220 kV-Leitung ab
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Wandlerexplosion führte zu Ionisierung im Bereich der räumlich über der Fehlstelle verlaufenden 380 kV-Leitung und zu Kurzschluss mit der Folge der Abschaltung der 380 kV-Leitung und zur Abschaltung des M-Transformators durch den Blockschutz. In beiden Blöcken kam es zum Notstromfall.
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
In beiden Blöcken kam es zum Notstromfall.
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	Das Feuer wurde zunächst mit Pulverlöschern bekämpft, und später wurden mit einem Schaumteppich die sich wieder entzündenden Teile des Wandlers abgedeckt.
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	1.46 min
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Einstufung der Wandlerexplosion als Einzelfehler, keine weiteren bekannt
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	technische
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	keine

Eine ausführlichere Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.21 Ereignis 21

GER22– Ereignis am 09.09.1987

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Schaden am Schaltschrank der Erregereinrichtung des NSD 30GY90; Aufdrücken einer Brandschutztür durch Druckaufbau im Raum
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Notstromdieselgebäude, 3K0
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltschrank der Erregereinrichtung des NSD 30GY90, Anschlussschiene
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung auf Warte und Dieselleitstand, Schutzanregung, Rauchmelder
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Erdschluss, der sich innerhalb von 4 s zu einem Kurzschluss ausweitete; 0,1 s danach wurde die Notstromschiene abgeschaltet
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Aufdrücken einer Brandschutztür durch Druckanstieg bei HEAF
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
Brandschutztür aufgedrückt durch Druckanstieg bei HEAF
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
ja

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
Brand wurde mit CO ₂ -Feuerlöschern gelöscht
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
9 min
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Eine lose Schraube führte zu einem Erdschluss, der sich zu einem Kurzschluss ausweitete
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technisch, menschlich
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Andere Redundanzen wurden auf lose Schrauben überprüft.

2.1.22 Ereignis 22

GER01 – Ereignis am 06.02.1987

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Ein Lichtbogen im Pumpenmotor VE04D001 (Nebenkühlwasser) zerstörte die Ständerwicklung im Bereich des Wickelkopfes
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Nebenkühlwasserpumpenbauwerk, Pumpenmotor VE01 D001
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Nebenkühlwasserpumpenbauwerk, Pumpenmotor VE01 D001. Der Schaden hatte seinen Anfang im Bereich der der Verbindung von Schaltleitung und Ausleitung.
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentensversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Meldung, Schutzanregung
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Pumpenmotor VE01 D001. Der Schaden hatte seinen Anfang im Bereich der der Verbindung von Schaltleitung und Ausleitung. Die Ausgangsstelle war offensichtlich nicht ausreichend versteift.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische (Auslegung, Konstruktion)
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Gleichartige Motoren wurden mit zusätzlichen Versteifungen versehen.

2.1.23 Ereignis 23

GER11 – Ereignis am 30.05.1986

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Der Lichtbogen im Bereich des Sammelschienenfeldes CR21 griff auf die senkrechte Feldsammelschiene und von dort auf die Hauptsammelschiene über. Durch diesen ca. 8,5 s lang dauernden Lichtbogen wurde die Sammelschiene CR geschädigt.
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude, Raum ZE0306
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Eigenbedarfsversorgung CR, 380 V-Sammelschiene (Eigenbedarf Redundanz 4)
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	380 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Rauchmelder, Eigenbedarfstafel
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
ca. 8,5 s
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	ja
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	Auslösung Brandmelder um 18:14 h, Auslösung Feueralarm nach Kontrolle vor Ort um 18:17 h, Brandlöschung durch CO ₂ -Feuerlöscher um 18:40 h abgeschlossen
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	ca. 26 min
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Ursache "nicht mehr klärbar"
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	unbekannt
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	keine

2.1.24 Ereignis 24

GER28 – Ereignis am 8.06.1984

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Brüche an den Hängestab-Isolatoren und an den 30 kV-Seilen und Kurzschluss über Seilbewegungen
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Außenanlage: Schaltanlage (Umspannwerk)
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	30 kV-Seile der Schaltanlage
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	30 kV
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
anwesendes Personal, Wartenmeldungen
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
1,8 s
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Trenner wurde versehentlich unter Last gestellt und geöffnet
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
menschliche Fehlhandlung
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Belehrung des Schaltpersonals und verbesserte Vorbereitung von Schalthandlung

2.1.25 Ereignis 25

GER01 – Ereignis am 17.02.1981

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Verdampfen eines Teils der Leitung und Verschmoren der Isolierung
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Reaktorgebäude, Ringraum
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Motor von Sicherheitseinspeisepumpe TH45D001
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Wartenmeldungen
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Schaltleitung im Motor defekt
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
zusätzliche Versteifung der Schaltleitung

2.1.26 Ereignis 26

GER27 – Ereignis am 11.08.1979

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Einbauteile im Schaltschrank EV-7H
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	"Bau 9", Notstromschiene EV, Unterverteilung FB, Schaltschrank EV-7H
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Notstromschiene EV, Unterverteilung FB, Leistungsschalter für TC1 D05 und Sicherungstrenner für FB
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Rauchentwicklung durch Elektromeister vor Ort erkannt; Rauchmelderauslösung
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
herabfallende Blechschraube mit Unterlegscheibe zur Befestigung von Pertinax-Platten
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Pertinax-Platten werden bei allen Einschüben mit Kunststoff-Schrauben befestigt.

2.1.27 Ereignis 27

GER28 – Ereignis am 13.07.1979

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	beschädigter Sicherungstrenner
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude, Schaltanlage FQ
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schaltanlage FQ, Abgang FQ27A5
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
nicht dokumentiert
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Bedienungsfehler beim Einlegen des Sicherungstrenners
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
menschliche Fehlhandlung
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Austausch von Sicherungstrennern gegen Lasttrenner, weiterhin Überwachung der Zuleitungen EU und EV auf Sicherungsfall

2.1.28 Ereignis 28

GER23 – Ereignis am 11.01.1979

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja, Ereignis im 220 V-Bereich
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Bei der Auslösung von Steuerstäben kam es zu einer verzögerten Einfallzeit; infolge eines nicht ganz geschlossenen Kontakts entstand auf Grund der normalen Spannung an den Schützkontakten ein Lichtbogen, die Kontakte waren durch den anstehenden Lichtbogen beschädigt. Ein Schütz war betroffen.
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Steuerstabverteilung FA, Schaltschrank FA19
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Schütz
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	220 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
keine Überspannung
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
über verzögerte Einfallzeit der Steuerstäbe durch Schreiber auf der Warte
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
unbekannt
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja, Einzelfehler in einem Raum bzw. einer Redundanz
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	entfällt
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Der Lichtbogen entstand aufgrund nicht ganz geschlossener Schützkontakte aufgrund eines eingefallenen stecknadelgroßen Bruchstückes eines darüber befindlichen Leitungskanals.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	technische, menschliche: Konzeptionsfehler mit der Möglichkeit eines Einfalls von Fremtteilchen in die Schütze
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	Die Öffnungen des Schützes wurden abgedeckt.

Eine ausführlichere Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.29 Ereignis 29

GER27 – Ereignis am 25.05.1978

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Zerstörung einer Löschkammer (Trennkammer) an der Phase S des Generatorschalters beim Abfahren der Anlage (Abschalten von Halblast auf Eigenbedarf)
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Außenbereich, Hochspannungsschaltanlage
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Hochspannungsschaltanlage, Generatorschalter AC7 der Generatoreinspeisung
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	220 kV
6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?	
	unbekannt

7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Generatorschutz
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
ca. 3 min
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein

13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Die Ursache der Störung wurde am Ventilsteuerblock des Leistungsschalters gefunden.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
technische Ursache
Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Einbau eines Generatorschalters auf 20 kV-Ebene zum Schutz des Generators

2.1.30 Ereignis 30

GER24 – Ereignis am 31.10.1977

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja, 1977 im 400 V-Bereich
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Beim Lösen einer Kabelader vor der Nullschiene in der 400 V-Schaltanlage kam es durch Schraubenschlüssel eines Monteurs an einer nicht isolierten, spannungsführenden Sammelschiene zu einem Kurzschluss mit Lichtbogen. Teile der Sammelschiene, der Isolierung und die Bleche wurden beschädigt.
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Schaltanlagegebäude
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	Sammelschiene im Schaltschrank
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	380 V

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
keine Überspannung, jedoch Kurzschlussstrom (größer als Auslösewert der vorgeschalteten Schutzeinrichtung)
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentenversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
Rückmeldung des Schalterfalls auf der Warte
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
Die Dauer des Lichtbogens war sehr kurz, er wurde durch Auslösung der vorgelagerten Schutzeinrichtung beendet.
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
Ja, Teile der Sammelschiene, der Isolierung und die Bleche wurden beschädigt.
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja

11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine
Brandbekämpfung, sofern gegeben
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?
nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?
entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)
entfällt
Ereignisursachen
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?
Die Ursachen waren menschliche: Schraubenschlüssel berührte Sammelschiene, es erfolgte keine Freischaltung der Schiene, an der Arbeiten durchgeführt wurden.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.
menschliche Fehlhandlungen

Maßnahmen gegen Wiederholung
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?
Es erfolgten eine Belehrung des Personals sowie die Isolierung von spannungsführenden Teilen, die nicht einsehbar sind.

Eine ausführlichere Ereignisdarstellung findet sich in /ROE 09/.

2.1.31 Ereignis 31

GER15 – Ereignis am 28.09.1977

Betriebserfahrung	
1. Gibt es in der Betriebserfahrung der Anlage einschließlich der Netzanbindung Ereignisse, die mit einem hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten und Einrichtungen $\geq 0,4$ kV im Zusammenhang stehen?	
	ja
2. Welche Schäden sind dabei entstanden? Darstellung des Schadensbereiches und Ausmaßes mit kurzer Beschreibung (z. B. Explosionsdruckwelle, Druckaufbau Brand etc.)	
	Zerstörung der Einschub-Einheit und Beschädigung des Farbüberzugs in der betroffenen Schaltkammer
3. In welchen Gebäuden, Räumen bzw. Anlagenbereichen traten solche Ereignisse auf?	
	Betriebsgebäude, Raum EO 113
4. An welcher Komponente trat das hochenergetische Versagen auf (z. B. Schaltanlage, Transformator (ölgefüllt, Trockentrafo), Kabel, Strom- Spannungs-Wandler, Kurzschlüsse in Anschlusskästen für Armaturen etc.)?	
	gesicherte Stromerzeugung, NS-Not-Schaltanlage EU für VF 43D101; Bauteil: SV91-Schaltfeld EU55U (SE3)
5. Auf welcher Spannungsebene arbeitet die betroffene Komponente, wie hoch war der Nominalstrom an der Komponente?	
	unbekannt

6. Falls bekannt: Wie hoch war die Überspannung bzw. der Überstrom bei dem Ereignis?
unbekannt
7. Wie wurde das Ereignis mit hochenergetischem Komponentensversagen erkannt. Direkt durch Brandmeldedetektoren, visuell, durch Geräusche vor Ort oder indirekt durch Fehlsignale (soweit möglich, detaillierte Beschreibung)? Beobachtungen und Befunde
durch anwesendes KWU-IBS-Personal
8. Im Falle eines Lichtbogens als erkannter Ursache: Wie lange dauerte dieser an? Wie wurde dieser beendet? (Anmerkung: Nach Aussage ausländischer Fachleute besteht ggf. eine Korrelation zwischen Dauer des Lichtbogens und Schadensausmaß.)
nach kurzer Zeit über Sicherungen abgeschaltet
Auswirkungen
9. Hat es übergreifende Auswirkungen und indirekte bzw. Sekundärschäden (z. B. Druckwellen, Beschuss durch Trümmerteile, u. a. induzierte hochfrequente Spannung usw.) auf angrenzende Komponenten oder Bereiche gegeben? Wurden in der Folge Schutzeinrichtungen unwirksam?
nein
10. Waren die Schäden auf einen Raum bzw. eine Redundanz (bzw. Strang) beschränkt oder waren mehrere betroffen?
ja
11. Welche Brandschutzmaßnahmen (passive bauliche oder aktive anlagentechnische) waren durch die Auswirkungen des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten beeinträchtigt, insbesondere durch Druckaufbau und Trümmerteile?
keine

Brandbekämpfung, sofern gegeben	
12. Erfolgte eine Brandbekämpfung?	
	nein
13. Falls ja, welche Brandbekämpfungseinrichtungen und -maßnahmen kamen zum Einsatz? Welche waren erfolgreich?	
	entfällt
14. Wie lange dauerte der Brand an? (grobe Abschätzung)	
	entfällt
Ereignisursachen	
15. War es möglich, die Ursachen des hochenergetischen Versagens zu finden? Falls ja, was waren die möglichen Ursachen?	
	Der Lichtbogen wurde entweder durch eine lose Schraube im Isolierstoffträger des Abgangkontakts der Phase S oder durch einen Fremdkörper zwischen den blanken Cu-Schienen auf der Rückseite des Einschubs in der Höhe der Anschlusschienen zu den Einspeisekontakten gezündet.
16. Sofern die zugrunde liegenden Ursachen (root causes) gefunden wurden, welche waren es? Menschliche (Fehlhandlungen, Fehler), technische, administrative Ursachen oder Kombinationen verschiedener Arten von root causes? Bitte listen Sie alle Arten beteiligter root causes auf.	
	technisch/administrativ
Maßnahmen gegen Wiederholung	
17. Welche Maßnahmen gegen Wiederholung eines solchen Ereignisses wurden getroffen?	
	Kontrolle der übrigen Isolierstoffträger und blanken Strombahnen

2.2 Erkenntnisse aus den in deutschen Anlagen aufgetretenen Ereignissen

Bei der Auswertung der Fragebögen zu den in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen HEAF-Ereignissen wurden folgende Sachverhalte festgestellt:

Bei den Komponenten, an denen HEAF-Ereignisse auftraten, handelt es sich um Transformatoren, Schaltanlagen, Kabel und Anschlusskästen im Spannungsbereich zwischen 0,4 kV und 400 kV. Dabei spielen Schaltanlagen mit insgesamt 18 von 31 Ereignissen mit einem Anteil von rund 60 % die wesentliche Rolle, gefolgt von Transformatoren mit ca. 10 % (3 von 31 Ereignissen).

Alle Ereignisse wurden umgehend über Störmeldungen signalisiert. Bei einer relevanten Rauchentwicklung erfolgte immer eine Signalisierung über die Brandmeldeanlage. Dabei kam es in etwas mehr als 35 % aller Ereignisse zu einem Brand.

Die Redundanztrennung war bei allen Ereignissen sichergestellt. In nur wenigen Fällen (gut 20 %) war der Schaden nicht auf die Komponente begrenzt, an der das hochenergetische Versagen auftrat. Durch Explosionen infolge des hochenergetischen Versagens gab es keine Beeinträchtigung anderer Bereiche oder Komponenten. Dies betrifft auch die ordnungsgemäße Funktion der brandschutztechnischen Einrichtungen.

Dabei hatten die Ereignisse zwar immer ein Potential für ein explosionsartiges Versagen, in den meisten Fällen kam es jedoch gar nicht dazu, da die vorhandenen Schutzanlagen eine Explosion erfolgreich verhinderten. Nur in rund 13 % aller Ereignisse traten Explosionen auf.

Als Ursachen für die Ereignisse stellen sich technische Ursachen, menschliche Fehlhandlungen (englisch: human factor, HF), Fehler in Prozeduren und Alterungserscheinungen heraus. Dabei überwiegen die technischen Ursachen bei weitem mit 24 von 31 Ereignissen entsprechend einem Anteil von 77 %. Menschliche Fehlhandlungen spielten bei 5 Ereignissen eine Rolle (16 %), Alterung der Komponenten war bei 3 Ereignissen entsprechend 10 % mit für das Komponentenversagen verantwortlich und fehlerhafte Prozeduren bzw. administrative Gründe spielen bei 2 Ereignissen (knapp 7 %) zusammen mit anderen Ursachen eine Rolle.

Im Hinblick auf die Vermeidung von hochenergetischen Versagenserscheinungen sind folgende Maßnahmen sinnvoll und wurden bzw. werden derzeit von den Betreibern

durchgeführt, um HEAF infolge technischer Ursachen stärker zu vermeiden bzw. die Folgen von HEAF zu reduzieren:

- Austausch von Komponenten (Transformatoren, Schaltanlagen, Kabel),
- Tausch vorhandener ölarmer Schalter gegen Vakuumschalter,
- Installation von Lichtbogenerkennung über Druckdosen in Verbindung mit Überstromüberwachung (500 ms auf 100 ms),
- Ölmonitoring bei Transformatoren,
- Visuelle Kontrolle relevanter elektrischer Einrichtungen (insbesondere Kabel, Kabelanschlüsse),
- Prüfung von Isolationswiderständen,
- Herstellung bzw. Optimierung von Druckentlastungsmaßnahmen.

Im Zusammenhang mit den Verbesserungsmaßnahmen ist auch auf die neuerliche Berücksichtigung von HEAF im Rahmen der Musterverordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauVO) /AKG 09/ im Rahmen der Baugesetzgebung hinzuweisen. In der Fassung der EltBauVo aus dem Jahr 2009 wird darauf hingewiesen, dass für elektrische Betriebsräume von Schaltanlagen und Transformatoren mit Nennspannungen von mehr als 1 kV der feuerbeständige Raumabschluss nicht durch einen Druckstoß in Folge eines Kurzschlusslichtbogens gefährdet werden darf. Die Anforderung wird erfüllt, indem Druckentlastungsöffnungen in den Umfassungsbauanteilen eingeplant werden.

Nachfolgend finden sich in Abb. 2-9 und Tab. 2-2 beispielhaft für eine Anlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart mögliche relevante Anlagenbereiche und die dort befindlichen Komponenten mit einem Potential für HEAF-Ereignisse.



Abb. 2-9: Schematische Außenansicht des Kernkraftwerks GER09

Tab. 2-2: Relevante Bereiche für HEAF-Ereignisse am Beispiel der Anlage GER09

Spannungsebene / Anlagenbereich	10 kV	6 kV	0,4 kV
Reaktorgebäude ZA	2		
Schaltanlagegebäude ZE	2		4
Maschinenhaus ZF	2		
Notstromdieselgebäude ZK		3	
Kühlwasserpumpenhaus ZM	2	2	
Transformatoren außerhalb von Gebäuden	3 / 11*	6	

**Anmerkung:*

3 Transformatoren > 10 kV (Maschinentransformator, Eigenbedarfstransformator)

3 Internationale Task OECD HEAF

3.1 Zielsetzung der Task HEAF

Bereits seit 2004 beschäftigen sich internationale Fachleute sowohl auf Seiten der Gutachter und Aufsichtsbehörden als auch auf Seiten der Betreiber kerntechnischer Einrichtungen mit der Problematik des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten in Folge von Störlichtbögen, HEAF. Unter anderem demonstrierte die internationale Betriebserfahrung der in der internationalen Datenbank OECD FIRE /OEC 09a/ erfassten Brandereignisse in Kernkraftwerken, dass es sich bei einer nicht zu vernachlässigenden Anzahl der in dieser Datenbank gespeicherten Ereignisse um HEAF-verursachte Brände handelt /BER 09/, /OEC 09a/ und /BER 10/. Im Sommer 2009 rief daraufhin die Integrity and Ageing Working Group, IAGE des OECD/NEA Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI) eine internationale Arbeitsgruppe ins Leben, die sich im Detail mit der Untersuchung von HEAF-Phänomenen in Kernkraftwerken beschäftigen soll /OEC 09/.

Ziel dieser Aktivität ist es, das hieraus resultierende Brandrisiko besser zu verstehen und dabei durch eine internationale Gruppe von Fachleuten diesbezügliches Wissen zusammenzubringen und Forschungsaktivitäten dazu möglichst effektiv zu gestalten. Dies beinhaltet einerseits eine präzise, international unter den Teilnehmern der Arbeitsgruppe 'OECD HEAF' abgestimmte Definition von HEAF sowie andererseits einen Austausch von Informationen und Erkenntnissen aus der jeweiligen nationalen Betriebserfahrung kerntechnischer Einrichtungen einschließlich der Aufsicht über diese sowie aus Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu dieser Thematik innerhalb dieser internationalen Arbeitsgruppe.

Im Weiteren ist geplant, die physikalischen und chemischen Phänomene im Zusammenhang mit HEAF zu untersuchen und als dynamische Vorgänge zu charakterisieren. Ein mögliches Ergebnis der Task könnten vereinfachte Modelle bzw. deterministische Korrelationen für eine Vorhersage möglicher Schadensbereiche sein. Außerdem kann sich ggf. die Notwendigkeit weiterführender Versuche und Forschungsarbeiten zu diesem Themenbereich ergeben. Als Ergebnis dieser auf drei Jahre angelegten OECD Task soll der Stand von Wissenschaft und Technik in einem State-of-the-art Report

(SOAR) festgehalten werden. Die Mitwirkung an dieser Task soll insbesondere der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik das hochenergetische Komponentenversagen elektrischer Komponenten betreffend dienen.

Die internationale Vorgehensweise umfasst dabei folgende Arbeitsschritte:

- die Erarbeitung einer einheitlichen, international abzustimmenden Definition von HEAF-Ereignissen, wie sie mit vergleichsweise hoher Wahrscheinlichkeit an bestimmten Komponenten, wie Schaltanlagen oder Transformatoren etc. auftreten;
- einen Informationsaustausch zwischen Experten aus den beteiligten OECD/NEA-Mitgliedsländern zur Betriebserfahrung mit HEAF-Ereignissen, zum sonstigen Erfahrungsrückfluss, zu aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu dieser Thematik sowie zu Strategien zur Begrenzung der Auswirkungen von HEAF;
- der Durchführung von Untersuchungen in Bezug auf die dem HEAF zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Phänomene, um HEAF-Ereignissen als dynamische Vorgänge charakterisieren zu können;
- der Entwicklung eines vereinfachten Modells bzw. einer deterministischen Korrelation, um adäquate und dabei nicht allzu zeitaufwändige Vorhersagen mögliche Schadensbereiche und das Schadensausmaß infolge von HEAF betreffend machen zu können;
- die Erarbeitung generell akzeptierter Input-Kriterien und Randbedingungen für eine Modellierung von HEAF-Prozessen mit CFD (*computational fluid dynamics*)-Modellen mit einer entsprechenden Akzeptanz auf Seiten sowohl behördlicher Institutionen als auch der Industrie;
- die Identifizierung der Notwendigkeit ggf. durchzuführender experimenteller Untersuchungen, um die entsprechenden Eingabedaten und Analyserandbedingungen für die Modellierung von HEAF-Ereignissen bereitstellen zu können;
- eine Validierung und Verifizierung der bereits entwickelten Korrelationen und Modelle;
- die Erstellung eines technischen Berichtes zur internationalen Betriebserfahrung mit HEAF-Ereignissen in den an der Task 'OECD HEAF' beteiligten OECD/NEA-Mitgliedsländern und den sich daraus ergebenden Erfordernissen für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet und eine mögliche Weiterentwicklung von Regelwerksanforderungen.

3.2 Definition von HEAF in der OECD/NEA Task Group

Für die Durchführung vertiefter Untersuchungen und Auswertung der Betriebserfahrung zu HEAF-Ereignissen in den an der Task OECD HEAF beteiligten Mitgliedsländern der OECD/NEA ist eine präzise Definition des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten wesentlich. Nach entsprechenden Diskussionen in der internationalen Arbeitsgruppe wurde die folgende Definition unter den Teilnehmern abgestimmt:

“High Energy Arcing Faults (HEAF) are energetic or explosive electrical equipment faults characterized by a rapid release of energy in the form of heat, light, vaporized metal (e.g. copper) and pressure increase due to high current arcs between energized electrical conductors or between an energized electrical conductor and neutral or ground. HEAF events may also result in projectiles being ejected from the electrical component or cabinet of origin and results in fire.

Components that may be affected include specific high-energy electrical devices, such as switchgears, load centers, busbars/ducts, transformers, cables, etc., operating typically on voltage levels of 380 V and above. The energetic fault scenario consists of two distinct phases, each with its own damage characteristics and detection/suppression response and effectiveness.

- First phase: short, rapid release of electrical energy which may result in projectiles (from damaged electrical components or housing) and/or fire(s) involving the electrical device itself, as well as external exposed combustibles, such as overhead exposed cable trays or nearby panels, that may be ignited during the energetic phase.*
- Second phase, i.e., the ensuing fire(s): is treated similar to other postulated fires within the zone of influence.*

An arc is a very intense abnormal discharge of electrons between two electrodes that are carrying an electric current. Since arcing is not usually a desirable occurrence, it is described as an “arcing fault.” The arc is created by the flow of electrons through charged particles of gas ions that exist as a result of vaporization of the conductive material.”

Dabei handelt es sich bei dem Englisch als high energy arcing fault (HEAF) bezeichneten hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten um das aktive, dynamische oder auch explosionsartige Versagen von Einrichtungen, welches durch eine extrem schnelle Freisetzung von Energie in Form von Wärme, Licht, verdampftem Metall und einem Druckanstieg in Folge von Hochstromlichtbögen zwischen unter Spannung stehenden elektrischen Komponenten und Nullleiter oder Erde. HEAF-Ereignisse können ggf. auch dazu führen, dass Projektile aus der elektrischen Komponente oder dem Schaltschrank der Entstehung des HEAF ausgeworfen werden und zu einem Brand führen.

Bei den typischerweise als HEAF-Komponenten zählenden Komponenten handelt es sich um üblicherweise auf Spannungsebenen von ≥ 380 V arbeitende hochenergetische Einrichtungen wie Schaltanlagen, Verteiler, Sammelschienen, Transformatoren etc.. Das Szenario eines hochenergetischen Versagens unterteilt sich dabei in zwei Phasen, die jede eine bestimmte Schadenscharakteristik aufweisen und jeweils über ihre eigenen Möglichkeiten der Erkennung und erfolgreichen Beendigung verfügen.

Die erste Phase ist durch eine extrem schnelle und nur kurze Zeit andauernde Energiefreisetzung elektrischer Energie gekennzeichnet. Dabei besteht die Möglichkeit, dass bei dem explosionsartig verlaufenden Versagen Projektile aus der beschädigten Komponente oder ihrer Einhausung ausgeworfen werden bzw. Brände an der Komponente selbst oder anderen entflammaren Einrichtungen entstehen können. Im Allgemeinen beinhaltet die zweite Phase eines HEAF-Ereignisses typischerweise Folgebrände.

Bei dem Störlichtbogen selbst, der zu einem möglicherweise katastrophalen Komponentenversagen führt, handelt es sich um eine sehr starke anormale Entladung von Elektronen zwischen unter Spannung stehenden Elektroden. Der Lichtbogen wird dabei durch den Elektronenfluss durch die in Folge eines Verdampfens leitfähigen Materials geladener Gasionen erzeugt.

3.3 Aktuelle Erkenntnisse aus der internationalen Arbeitsgruppe OECD HEAF zu HEAF-Ereignissen in Kernkraftwerken

Mittlerweile haben in der auf zunächst drei Jahre geplanten und mittlerweile bis mindestens 2013 verlängerten Task 'OECD HEAF' bereits fünf offizielle Arbeitstreffen stattgefunden, bei denen aktuelle Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung mit HEAF-

Ereignissen unter den beteiligten Fachleuten aus den Mitgliedsländern ausgetauscht wurden.

Allein die aktuelle Version der OECD FIRE Datenbank /OEC 11/ mit fast 400 Brandereignissen enthält rund 12 % (46) als HEAF gekennzeichnete Ereignisse. Etwa 30 % dieser Ereignisse habe zu einem Funktionsausfall von einer oder mehrerer Redundanzen des Sicherheitssystems geführt, 55 % führten zu einer Änderung im Anlagenbetriebszustand (d. h. einer Abschaltung des Reaktors).

Nachfolgend finden sich erste Erkenntnisse aus in Kernkraftwerken in den Mitgliedsländern Finnland, Frankreich, Japan, Kanada, Korea und den USA aufgetretenen HEAF-Ereignissen.

Finnland:

Die finnische Betreiberorganisation Fortum hat ihre im Kernkraftwerk Loviisa getroffenen Schutzmaßnahmen gegen Lichtbögen vorgestellt. Nach ersten Schutzmaßnahmen an 6 kV- und 0.4 kV-Schaltanlagen mittels Notstromdieseln als Backup in den Jahren 1994 - 1996 wurden solche Maßnahmen an weiteren Schaltanlagen in den Jahren 2006 - 2008 getroffen. Für eine Auslösung müssen gleichzeitig zwei Kriterien erfüllt sein: ein auftretender Lichtblitz und ein entsprechend überhöhter Strom in der Stromversorgung der Schaltanlage. Innerhalb von 2 ms erhalten alle Versorgungsschalter der Schaltanlage ein Signal zu öffnen. Nach 65 ms erfolgt das Öffnen, die gesamte Abschaltzeit beträgt in den meisten Fällen ca. 75 ms. Ohne den Lichtbogenschutz würden die Abschaltzeiten in den meisten Fällen etwa 200 - 500 ms betragen. Der Druckanstieg in Folge des Lichtbogens kann dazu führen, dass Türen aufgedrückt und gegen Schaltschränke im Nachbarräum geschleudert werden. Ein Versagen beider Schaltanlagen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit zu unterstellen, falls der Lichtbogenschutz versagt. Es ist grundsätzlich möglich, jedoch hinreichend unwahrscheinlich, sofern der elektrische Lichtbogenschutz seine Funktion ordnungsgemäß erfüllt.

Frankreich:

Die französische TSO (Technical Safety Organization) IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) hat ähnlich der GRS einen Fragebogen zu Einrichtungen an und in Schaltanlagen zur Verteilung an die Betreiber französischer Kernkraftwerke erstellt hat. Nach dem Ereignis im Kernkraftwerk Gravelines wurden einige ölgefüllte

Schalter durch trockenere ersetzt, dennoch besteht immer noch ein Explosionsrisiko. Aus französischer Sicht wird ein Vergleich der Antworten der deutschen Betreiber mit denen der französischen fachlich höchst interessant sein.

Im Jahr 2009 trat am 17.08.2009 im Kernkraftwerk Cruas ein Brand auf. Dieser entstand im Eingangsbereich eines Schaltschranks (Schaltpults) für die Vorwärmer (unter Überdruck). Der Brand konnte vom Personal schnell mit einem CO₂-Feuerlöscher erfolgreich gelöscht werden. Es kam zu keiner Reaktorabschaltung, auch die entsprechende elektrische Redundanz blieb verfügbar. Ursache scheint der Ausgangsleiter eines Leistungskabels zu sein, welches in Kontakt mit einer Sammelschiene kam. In der Folge kam es zu einem Temperaturanstieg und einer nachfolgenden Erwärmung des Isolators des Ausgangsleiters. Root cause war wohl eine alterungsbedingte Schädigung des Isolators, was zu einem Kurzschluss und nachfolgendem Brand führte. Das Ereignis könnte das Ergebnis einer beschleunigten Alterung sein. Es wird noch untersucht, um es sich um ein HEAF-Ereignis entsprechend der internationalen Definition handelt oder nicht.

Die französischen Fachleute diskutierten zudem zwei weitere Ereignisse mit HEAF und Brand an Transformatoren in den französischen Kernkraftwerken Paluel und Tricastin. Für beide Fälle wurden der Ereignisablauf, die möglichen Ursachen, die Auslösung der Löschanlagen und die Folgeschäden diskutiert.

Japan:

In Japan sind nach Kenntnis von JNES (Japan Nuclear Energy Safety Organization) seit 1965 insgesamt fünf, eindeutig als HEAF einzustufende Brandereignisse aufgetreten, davon zwei in den Jahren 2009 und 2010. Am 11. März 2011 ereignete sich in Folge des starken Erdbebens der Magnitude 9,0, welches auch zu den Unfällen am Kraftwerksstandort Fukushima-Daiichi führte, im Kernkraftwerk Onagawa, Block 1 ein HEAF-Ereignis an einer 6,9 kV-Schaltanlage im Maschinenhaus mit Folgebrand. Es kam zu einem Ausfall der Stromversorgung sowohl des Maschinentransformators als auch eines Hilfstransformators. In einem Schaltschrank aus Metall kam es zu einem länger andauernden Lichtbogen, der Fehlauflösungen sicherheitstechnisch relevanter Komponenten und eine zeitweilige Nichtverfügbarkeit der Nachwärmeabfuhr zur Folge hatte. Der Lichtbogen verursachte einen Brand, der zu erheblichen Schäden an insgesamt zehn miteinander verbundenen Schaltschränken führte. Betroffen waren insbesondere diverse Steuerkabel und deren Isolierung. Ursache des Lichtbogens war ver-

mutlich eine nicht erdbebengeschützte Sammelschiene, an der es zu einem Kurz- bzw. Erdschluss kam, der einen Überstrom mit Lichtbogen zur Folge hatte. Das aus dem HEAF-Brandereignis resultierende Versagen des Transformators hatte den Ausfall der Stromversorgung zur Folge. Als eine erste Vorkehrungsmaßnahme gegen Wiederholung soll zum einen der bisherige Leistungsschalter gegen einen Vakuumschalter ausgetauscht werden, zum anderen sollen die entsprechenden Systeme und insbesondere die verschiedenen Schaltschränke zukünftig stärker räumlich getrennt werden. Des Weiteren wird JNES das Ereignis vertieft im Hinblick auf Dauer und Intensität des Lichtbogens sowie die Schäden sowohl durch den Lichtbogen selbst als auch durch die Einwirkungen des Folgebrandes untersuchen. Damit soll es ermöglicht werden, die Auswirkungen des Ereignisses zu charakterisieren und zu quantifizieren, um damit das Szenario des hochenergetischen Versagens modellieren zu können.

Kanada:

Die kanadische Behörde CNSC (Canadian Nuclear Safety Commission) stellte zunächst fest, dass die derzeit der Behörde aus der kanadischen Betriebserfahrung zur Verfügung stehenden Daten zu Störlichtbögen begrenzt sind und erst nach Sicherstellung der Finanzierung einer solchen Auswertung mit mehr Informationen zu rechnen ist. Zudem sind nicht alle dieser Ereignisse in die Datenbank OECD FIRE eingespeist worden, da viele keinen Brand zur Folge hatten. Mittlerweile hat die Behörde eine Umfrage bei den Betreibern zu HEAF-Ereignissen gemacht und dabei zunächst kein solches Ereignis feststellen können, was aber ggf. auf eine zu unpräzise Definition von HEAF zurückzuführen ist. Nach Vorliegen der endgültigen präzisen Definition wird die Betriebserfahrung erneut zu überprüfen sein. Dennoch ist die sicherheitstechnische Bedeutung von HEAF in Kanada unumstritten, entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einschließlich der Erarbeitung eines HEAF-Modells sind derzeit im Gange.

Korea:

Auch in koreanischen Kernkraftwerken haben sich in der Vergangenheit Ereignisse mit HEAF ereignet, über die von vom Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) auch erste Informationen (siehe /ROE 09/, Anhang A-4) bereitgestellt wurden, auch wenn seitens koreanischer Fachleute von KHNP (*Korea Hydro and Nuclear Power*) betont wurde, dass es bisher zumindest keine offiziell gemeldeten HEAF-Ereignisse in koreanischen Kernkraftwerken gibt.

Möglicherweise weist die Betriebserfahrung dennoch solche Ereignisse auf, nach Vorliegen der endgültig präzierten HEAF-Definition könnten Erkenntnisse aus diesen ggf. der internationalen Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt werden. Beispielsweise gab es in den späten 90er-Jahren ein Ereignis an einem ölgefüllten Transformator. Ein weiteres mögliches HEAF-Ereignis könnte die Überhitzung von Buchsen an Sammelschienen nach Vibrationen in Folge eines Erdbebens sein. Ein weiteres Ereignis, welches möglicherweise ein HEAF-Ereignis sein könnte, trat in einem koreanischen Kernkraftwerk im März 2010 auf. Über dieses werden die in der Arbeitsgruppe OECD HEAF beteiligten koreanischen Experten Bericht erstatten, sobald gesicherte Informationen zu diesem Ereignis vorliegen. Zudem sind ggf. diverse kleinere, nicht meldepflichtige Brände durch HEAF verursacht.

Die koreanischen Fachleute haben die mögliche sicherheitstechnische Bedeutung von HEAF-Ereignissen erkannt und daraus bereits einen internationalen Untersuchungsbedarf abgeleitet. In der Folge wurden von koreanischer Seite auch bereits erste Komponenten für die in den USA geplante OECD-Versuchsserie zu HEAF (vgl. Abschnitt 3.4.1) zur Verfügung gestellt.

USA:

In den USA finden derzeit umfangreiche Aktivitäten zur Untersuchung von HEAF statt. Dies spiegelt sich unter anderem auch in einer Vielzahl von Diskussionsbeiträgen bei internationalen Konferenzen, wie der PSA 2011 in Wilmington, NC (USA) im März 2011 (siehe auch /ANS 11/) oder bei den letzten Fachtagungen des Nuclear Energy Institutes (NEI), dem NEI Fire Protection Information Forum in den Jahren 2010 und 2011. Die amerikanischen Vertreter berichteten unter anderem über ein Projekt von NEI mit dem Ziel, dielektrische Anforderungen an Personenschutzeinrichtungen zu etablieren. In diesem Zusammenhang werden die Einwirkungen auf Umfassungsbau- teile entsprechender Komponenten untersucht.

Sandia National Laboratories (SNL) haben mittlerweile einen Bericht mit dem Titel "High Energy Arcing Fault Fires in Switchgear Equipment, A Literature Review" /BRO 08/ veröffentlicht. Derzeit werden bereits Versuche an einer Universität im Bereich der Plasmaphysik zur Charakterisierung des Druckaufbaus bei Störlichtbögen durchgeführt bzw. für die nahe Zukunft geplant, deren Ergebnisse ggf. noch 2011 oder 2012 vorliegen sollen. Gleichzeitig gibt es eine Kooperation zwischen der NRC (Nuclear Regulatory Commission) und EPRI (Electric Power Research Institute), um deren

Daten aus der Betriebserfahrung mit Störlichtbögen auswerten zu können. Nach Ansicht der U.S. NRC ist außerdem zu klären, inwieweit die Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung zu HEAF bereits mit in die aktuellen Brand-PSA eingeflossen sind.

Modellierung und Charakterisierung von HEAF

Eine wesentliche Zielsetzung der Task "OECD HEAF" stellt die Modellierung dieses Versagens und die Charakterisierung der diesem zugrunde liegenden chemischen und physikalischen Phänomene des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten aus der Perspektive der Branddynamik dar. Die internationale Arbeitsgruppe sieht hier eine dringende Notwendigkeit dafür, entsprechende Parameter zur Charakterisierung, wie in den Komponenten verwendeten Konstruktionsmaterialien, Spannungswerte und typischerweise verwendete Komponentenarten zu erhalten.

Der kanadische Chairman der Arbeitsgruppe hat die Arbeiten der kanadischen Behörde CNSC zur Entwicklung eines HEAF-Modells vorgestellt. Dazu wurde unter anderem eine Begutachtung der Anforderungen an Personenschutzeinrichtungen (englisch: Personal Protection Equipment, PPE) für Arbeiten an elektrischen Einrichtungen und Ereignisse mit Lichtbögen durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden auch Reviews der U.S.-amerikanischen Regeln und Richtlinien IEEE-1584 'IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations' /IEE 02/ und NFPA-70E 'Standard for Electrical Safety in the Workplace' /NFP 11/ durchgeführt.

Das von CNSC vorgeschlagene HEAF-Modell nutzt die im Ereignis aufgetretene Energie bzw. den Energiestrom 'E' in einer vorher festgelegten Entfernung, die sich mittels empirischer bzw. statistischer Modelle für die Berechnung von persönlichen Schutzausrüstungen (PPE) verwenden lässt. Mittlerweile hat bereits eine erste Validierung dieser Modelle über eine begrenzte Anzahl von Versuchen stattgefunden. Weitere Validierungen der Daten könnten ggf. über das geplante OECD-Versuchsprogramm (siehe Abschnitt 3.4) erfolgen. Der kritische Wert für den Energiestrom E liegt für PPE bei 5 J/cm^2 , entsprechend einer Schädigung durch eine Verbrennung zweiten Grades.

Das HEAF-Modell berücksichtigt drei verschiedene Schadenszonen:

1. Die sogenannte Arc Shock Zone:

Hierbei handelt es sich um einen im Allgemeinen kugelförmigen Bereich des anstehenden elektrischen Versagens durch den Störlichtbogen, wobei der elek-

trische Strom über oder durch Objekte in diesem Bereich abfließt, wodurch ein unmittelbarer Schaden zu unterstellen ist.

2. Die sogenannte Arc Flash Zone:

Dabei handelt es ebenfalls um einen kugelförmigen Bereich außerhalb der o. g. Arc Shock Zone, in welchem sich überhitzte Gase bilden. Der Schaden lässt sich aus dem kritischen Wärmestrom für die unterstellte Dauer des Ereignisses auf der Basis des berechneten Energiestroms 'E' bestimmen.

3. Den sogenannten Plume

(als Synonym für die Heißgasfahne über einem Brandherd):

Hierbei handelt es sich um den typischen thermischen Plume-Bereich, der sich oberhalb des HEAF-Ereignisses ausbildet und durch eine Wärmefreisetzungsrate der beteiligten Brandgüter charakterisiert ist, die sich in Folge eines Brandes bildet.

Für eine fachliche Diskussion dieser ersten Modellansätze bzw. vereinfachenden deterministischen Korrelation für eine sinnvolle und schnelle Vorhersage möglicher Schadensbereiche sind entsprechende Eingabedaten erforderlich, die in einem ersten Ansatz, ebenso wie Daten zu den physikalisch-chemischen Phänomenen, von CNSC bereit gestellt werden sollen.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass bisher noch kein einheitliches Verständnis der den HEAF-Ereignissen zugrunde liegenden Phänomene mittels experimenteller Untersuchungen und Re-Evaluierungen der vorgenannten Theorien erzielt werden konnte. Bei Betrachtung der dynamischen Natur des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten stellt sich heraus, dass viele Einflussfaktoren noch nicht richtig verstanden sind. Die bisherigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind in ihrer Zielsetzung eingeschränkt und sprechen demzufolge auch nicht alle in Betracht zu ziehenden Einflüsse an, welche unter anderem bei einer vollständigen probabilistischen Bewertung des Brandrisikos unter Einbezug von HEAF von Bedeutung wären. Hier wird ein erheblicher Entwicklungsbedarf seitens der Task Group 'OECD HEAF' gesehen.

Fortsetzung der Arbeiten der Task Group 'OECD HEAF'

Der geplante Statusbericht der internationalen Arbeitsgruppe OECD HEAF zum Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich der Thematik des hochenergetischen Kom-

ponentenversagens, als State-of-the-art Report (SOAR) bezeichnet, soll die folgenden Inhalte umfassen:

- Einführung
- Betriebserfahrung mit HEAF-Ereignissen in den Mitgliedsländern
Anmerkung:
Dies beinhaltet auch Erkenntnisse aus der Auswertung des deutschen Fragenkatalogs.
- Charakterisierung von HEAF-Ereignissen
Hier sollen der aktuelle Kenntnisstand und die Zielsetzung des vorgeschlagenen Forschungsprogramms dargestellt werden.
- Schäden im Zusammenhang mit HEAF
Dieser Teil des Berichts wird insbesondere eine Zusammenfassung der Erkenntnisse der NRC zu aus HEAF resultierenden Schäden beinhalten.
- Modellierung von HEAF-Ereignissen
Hier sollen möglichst bereits erste Modellansätze mit CFD-Codes und ihre Eingabedaten, Randbedingungen etc. vorgestellt werden.
- HEAF-Forschungsprogramm
Hier werden Empfehlungen zum Umfang und zur Rechtfertigung des von der U.S. NRC bei SNL geplanten experimentellen Untersuchungsprogramms gegeben und die Zielstellung der Versuche vor dem Hintergrund von Komponentenalterung und Lebensdauererlängerung von Kraftwerken ausgesprochen.
- Zusammenfassung und Empfehlungen
- Anhang mit einer Beschreibung ausgewählter, in den Mitgliedsländern aufgetretenen HEAF-Ereignissen

Ein Entwurf des Statusberichts soll im Herbst 2012 vorliegen und dem CSNI spätestens 2013 zur Freigabe und Veröffentlichung vorgelegt werden.

3.4 Planung eines OECD/NEA-Versuchsprogramms zur Untersuchung von HEAF

3.4.1 Zielsetzung und Versuchsprogramm der HEAF-Versuchsserie

Ereignisse mit massiven elektrischen Entladungen und Störlichtbögen lassen sich mittlerweile weltweit in Kernkraftwerken insbesondere an Schaltanlagen nachweisen. Die Zahl solcher Ereignisse ist als Ergebnis der alternden Infrastruktur und eines steigenden Energiebedarfs angestiegen. Grundsätzlich entstehen HEAF in elektrischen Einrichtungen auf drei verschiedene Weisen: einer schlechten Verbindung zwischen der Schaltanlage und dem Traggestell, ungünstiger Umgebungsbedingungen oder dem Eintrag eines leitfähigen Fremdkörpers. Das daraus folgende hochenergetische Versagen führt typischerweise zu einem erheblichen kurzzeitigen Druck- und Temperaturanstieg in dem die Komponente umgebenden Schrank und ggf. zum einem katastrophalen Versagen der Einrichtung. In der Folge des Störlichtbogens werden immer wieder Folgebrände beobachtet, die zu relevanten Schäden an Kabeln und anderen sicherheitstechnisch relevanten Einrichtungen in der näheren Umgebung der HEAF-Komponente.

Ziel der vom U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), Office of Regulatory Research (RES) geplanten, experimentellen Versuchsserie (siehe auch /LOP 11/, die bei Sandia National Laboratories (SNL) in Albuquerque, NM durchgeführt werden soll, ist demzufolge ein Versuchsprogramm zur Untersuchung der Auswirkungen von HEAF-bedingten Bränden, um das mit diesen Ereignissen verbundene Risiko besser einschätzen und entsprechende vorbeugende Maßnahmen in Kernkraftwerken treffen zu können.

Die primäre Zielsetzung der Versuche besteht daher darin, wissenschaftliche Daten zu den HEAF-Phänomenen zu erhalten. Diese Daten sollen zusammen mit den Erkenntnissen aus real in Kernkraftwerken aufgetretenen HEAF-Ereignissen auch für eine Modellentwicklung zur Charakterisierung der HEAF-Phänomene genutzt werden können.

Aus U.S.-amerikanischer Sicht geben die Berichte NUREG/CR-6850 /NRC 05/, Appendix M und NFPA 805 "Frequently Asked Question (FAQ) 35" sehr gut den derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik zu HEAF wieder. NUREG/CR-6850 /NRC 05/ beinhaltet unter anderem ein Modell zur Berechnung von HEAF in elektri-

schen Schaltschränken, NFPA 805 FAQ enthält ein solches Modell für Sammelschienen (einschließlich Durchführungen). Jedes dieser Modelle basiert auf einem einzelnen Ereignis, welches sich auf die Fehlerart bezieht, keines erlaubt Anpassungen für die ein HEAF-Ereignis beeinflussenden Faktoren. Zudem treten HEAF-Ereignisse auch weiterhin in den Kraftwerken auf, wobei einige Ausfallarten bisher auch nicht durch die o. g. Modelle charakterisiert werden.

Demzufolge besteht eines der wesentlichen Ziele des geplanten Versuchsprogramms darin, auf der Basis von Experimenten ein neues mechanistisches Modell zur Charakterisierung der mit dem HEAF in Zusammenhang stehenden physikalisch-chemischen Phänomene und der damit verbundenen Ausfall- bzw. Versagensarten elektrischer Komponenten und deren Auswirkungen zu entwickeln.

Die Versuche sollen insbesondere dazu dienen, den Kenntnisstand zum hochenergetischen Komponentenversagen deutlich zu verbessern und HEAF-Ereignisse in der probabilistischen Risikobewertung (englisch: Probabilistic Risk Assessment, PRA) sowie bei Anwendungen bei Änderungsanträgen im Genehmigungsverfahren in den USA nach NFPA 805 /NFP 10/ besser charakterisieren zu können. Die Eingangseinwirkung des Lichtbogens auf primäre Komponenten wie auch die Folgeschäden durch das Anstehen des Störlichtbogens – wobei es sich insbesondere um Folgebrände handelt - sollen eingehend untersucht werden. Bei den zu untersuchenden Komponenten soll es sich zunächst insbesondere um Schaltablagen und Verteiler handeln.

Wie seitens des Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) definiert, werden Schaltanlagen in drei Klassen entsprechend den Spannungsebenen Niederspannung mit weniger als 1 kV (Wechselspannung), mittlere Spannung im Bereich zwischen 1 kV und 35 kV (Wechselspannung) und Hochspannung im Bereich über 35 kV (Wechselspannung) unterteilt. Solche Komponenten wurden bereits seitens der Industrie Untersuchungen unterzogen, Ziel dieser Versuche waren aber zumeist die Sicherheit von Personen und der Arbeitsschutz. Das vorgesehene Versuchsprogramm soll sich hingegen verstärkt mit den HEAF-Phänomenen in Kernkraftwerken und deren Auswirkungen auf sekundäre Brandgüter, wie beispielsweise Steuerungskabel, auseinandersetzen. Damit sollen die bestehenden Kenntnisunsicherheiten über Störlichtbögen und Folgebrände einschließlich deren Auswirkungen auf sicherheitsrelevante Einrichtungen verringert werden.

In Bezug auf die direkte Einwirkung durch HEAF werden Daten zu den explosionsartigen Auswirkungen einschließlich des Druckaufbaus, der zugehörigen Temperaturen und dem in der Schaltanlagenkomponente erzeugten Wärmestrom während der Dauer des Ereignisses benötigt. Dabei ist die Eingangseinwirkung von erheblicher Bedeutung für das Verständnis zum einen der Komponentenintegrität während des Auftretens des Überdrucks sowie zum anderen des Potentials eines katastrophalen Komponentensversagens bei unterschiedlichen Herstellerspezifikationen (u. a. Class 1E, non-Class 1E, NEMA rating). Es ist für die Bestimmung der Einwirkungszone ganz wesentlich, die Auswirkungen der Beanspruchung der Komponenten durch Wärme erklären zu können. Eine Quantifizierung des HEAF-Einflussbereichs ist immer dann wichtig, wenn die Lichtbogenauswirkungen auf sekundäre brennbare Materialien analysiert werden sollen. Dies stellt die Basis für Folgeschäden dar, die sich aus einem anstehenden Brand ergeben können. Anhand dieser Daten lässt sich ggf. das Modell aus NUREG/CR-6850 /NRC 05/ dahingehend verbessern, dass HEAF-Ereignisse sich genauer darstellen lassen.

Demzufolge wird die geplante Versuchsserie die Erforschung der grundlegenden Konfigurationen, der Versagensmechanismen sowie der Auswirkungen von HEAF beinhalten.

Die NRC hat in einem ersten Ansatz für diese Versuche eine grobe Versuchsmatrix der im Interesse der unterschiedlichen Mitgliedsländer zu untersuchenden und seitens dieser zur Verfügung zu stellenden HEAF-Komponenten aufgestellt, die sich nachfolgend in Tab. 3-1 findet. Ziel ist es, aus möglichst vielen Mitgliedsländern der OECD/NEA verschiedene der in der Tabelle aufgeführten Komponenten auf unterschiedlichen Spannungsebenen im Rahmen der HEAF-Zerstörungsversuche untersuchen zu können.

Tab. 3-1: Matrix möglicher bei den HEAF-Zerstörungsversuchen zu untersuchenden Komponenten aus unterschiedlichen Ländern (Stand: August 2011)

Component	Low Voltage (208 V - 1000 V)	Medium Voltage (1 kV – 22 kV)
Switch Gear		
Breaker		Korea 6.9 kV
Cabinet		Korea 6.9 kV
Motor Control Center		

Component	Low Voltage (208 V - 1000 V)	Medium Voltage (1 kV – 22 kV)
Breaker		
Cabinet		
Load Center		
Distribution Connections		
Cabinet		
Bus bars & bus ducts		
Iso-phase		
Non-segregated		
Transformer Bushings		
Test support and safety protection equipment	NRC	NRC

Das Programm wird vom U.S. NRC RES finanziert und als OECD/NEA-Projekt durchgeführt werden. NEA-Mitgliedsländer können sich über die Bereitstellung zu untersuchender Komponenten an den Versuchen beteiligen. Insofern wird die obige Tabelle in 2012 schrittweise ergänzt werden.

Die Mitgliedsländer erhalten dafür Zugang zu allen Versuchsergebnissen, Berichten etc. und können sich an der Spezifikation der endgültigen Versuchsmatrix aktiv beteiligen.

3.4.2 Internationale Beteiligung am HEAF-Versuchsprogramm

Die als experimentelles OECD-Projekt seitens der U.S. NRC bei SNL in Albuquerque, NM (USA) vorgesehene, realmaßstäbliche Versuchsserie zur Untersuchung des hochenergetischen Versagen elektrischer Komponenten (HEAF) soll prinzipiell von der amerikanischen Seite finanziert werden. Die Versuche sollen in der ersten Jahreshälfte 2012 beginnen.

Grundsätzlich soll eine Beteiligung der OECD/NEA-Mitgliedsländer darin bestehen, dass diese geeignete Komponenten für die Untersuchungen als sogenannten 'in-kind contribution' einschließlich aller dazu erforderlicher Komponentendaten zur Verfügung stellen und diese auf ihre Kosten zur Versuchseinrichtung in die USA transportieren lassen.

Die internationale Arbeitsgruppe hat aber beschlossen, dass eine Teilnahme an diesem Versuchsprogramm nicht nur für Mitgliedsländer der OECD/NEA sondern auch für Fachleute anderer Länder, die Komponenten für die Versuche zur Verfügung stellen können, möglich sein sollte, um ein möglichst umfassendes Versuchsprogramm zu generieren. Weiterhin wurde beschlossen, dass an dem Versuchsprogramm interessierte Mitgliedsländer, die keine Komponenten für die Untersuchungen bereitstellen können, dennoch an diesem Programm teilnehmen können, sofern sie einen finanziellen Beitrag zu der Versuchsserie leisten.

Derzeit beabsichtigen Finnland, Frankreich Kanada, Korea und Deutschland an dem OECD-Versuchsprogramm teilzunehmen und Komponenten zur Verfügung zu stellen. Japan ist ebenfalls an dem Projekt interessiert, kann aber keine Komponenten beisteuern und würde sich dementsprechend ggf. finanziell beteiligen. Korea hat mittlerweile bereits die ersten Komponenten in die Forschungseinrichtung bei SNL transportieren lassen.

3.4.3 Deutsches Interesse an einer Beteiligung an den HEAF-Versuchen

Aus deutscher Sicht hat die Auswertung der Betriebserfahrung anhand der in Kapitel 2 dargestellten Auswertung des Fragenkataloges sehr deutlich aufgezeigt, dass vor allem Hoch- und Mittelspannungsschaltanlagen, insbesondere auch vor dem Hintergrund des Alterns dieser Komponenten, einer genauen Untersuchung unterzogen werden sollten. Ähnliches gilt für Transformatoren und Leistungskabel auf entsprechend hohen Spannungsebenen.

Es ist deshalb geplant, sich möglichst mit solchen, bereits vorgealterten Komponenten aus deutschen Kernkraftwerken an der geplanten Versuchsserie zu beteiligen. Derzeit gibt es erste Hinweise von den Betreibern deutscher Kernkraftwerke, dass es möglich sein sollte, einen kleineren Transformator sowie geeignete Schaltanlagen auf den typischerweise HEAF-anfälligen Spannungsebenen von mehr als 380 V zur Verfügung stellen zu können. Leistungskabel sollten außerdem in nicht allzu großen Mengen jederzeit verfügbar sein.

Die deutschen Fachleute werden sich intensiv an der Planung der Versuche beteiligen, um sicherzustellen, dass möglichst viele mit deutschen Komponenten vergleichbare Komponenten im Hinblick auf die bisher in deutschen Anlagen aufgetretenen Ereignis-

se und deren Phänomene hin untersucht werden. Damit sollte ein möglichst großer Erkenntnisgewinn erzielt werden können.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Betriebserfahrung aus kerntechnischen Einrichtungen hat – gerade auch in der jüngeren Vergangenheit - eine Reihe explosionsartig verlaufender Brandereignisse infolge eines hochenergetischen Versagens elektrischer Einrichtungen, sogenannten High Energy Arcing Faults, HEAF aufgezeigt. Diese Versagensart von Komponenten in Folge von Störlichtbögen hat nach Ansicht von Fachleuten aus dem In- und Ausland Derartige HEAF-Ereignisse haben das Potential zu anlageninternen Bränden und Beeinträchtigungen von Brandschutzeinrichtungen mit der möglichen Folge redundanzübergreifender Schäden.

Dementsprechend wurden solche Ereignisse einer vertieften Betrachtung unterzogen, um ihre Ursachen zu ermitteln und spezielle Fragen in Bezug auf ihre Auswirkungen und die dem Versagen zugrunde liegenden physikalisch-technischen Phänomene versuchen zu klären. Dazu gehören auch aufsichtsrelevante Themen, wie das mögliche Versagen von Brandabschlüssen bei Druckaufbau aufgrund des Brandes, die Entrauchung im Schaltanlagegebäude sowie die Möglichkeit redundanzübergreifender Auswirkungen bei dem hochenergetischen Versagen einzelner Komponenten.

Erkenntnisse aus der deutschen Betriebserfahrung

Die Auswertung der Betriebserfahrung zu HEAF-Ereignissen in deutschen Kernkraftwerken anhand eines Fragenkataloges hat insgesamt eine nicht unerhebliche Anzahl von 31 Ereignissen aufgezeigt. Dabei hat sich herausgestellt, dass nur an ganz bestimmten Komponenten ein hochenergetisches Versagen (HEAF) zu erwarten ist. Dabei handelt es sich vorwiegend um Schaltanlagen und Transformatoren, aber auch um Kabel oder Anschlusskästen auf verschiedenen Spannungsebenen im Bereich zwischen 0,4 kV und 400 kV.

Alle in deutschen Kernkraftwerken aufgetretenen HEAF-Ereignisse wurden innerhalb kurzer Zeit detektiert und über Störmeldungen signalisiert. Sofern es zu einer relevanten Rauchentwicklung kam, erfolgte eine Alarmierung über die Brandmeldeanlage.

Bei allen HEAF-Ereignissen in deutschen Anlagen war die Redundanztrennung sichergestellt, durch das explosionsartige Versagen kam es nicht zu einer Beeinträchtigung

der ordnungsgemäßen Funktion brandschutztechnischer Einrichtungen und Abtrennungen oder zu einer unzulässigen Beeinträchtigung weiterer Komponenten.

Als Ursachen für solche HEAF-Ereignisse haben sich vorwiegend technische Ursachen herausgestellt, gefolgt von menschlichen Fehlhandlungen. Alterungserscheinungen und Fehler in Prozeduren spielen zusammen mit anderen Gründen ebenfalls eine Rolle bei dieser Art des Komponentensversagens.

Zu einer besseren Vermeidung hochenergetischer Versagenserscheinungen wird bzw. wurde mittlerweile in den deutschen Kernkraftwerken bereits eine Vielzahl sinnvoller Maßnahmen ergriffen.

Internationale Erkenntnisse

Erste im Rahmen der internationalen Task OECD HEF gesammelte Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung in Mitgliedsländern der OECD/NEA zeigen auf, dass eine nicht unerhebliche Anzahl von Ereignissen mit hochenergetischen Störlichtbögen aufgetreten ist. Viele davon haben Brände zu Folge gehabt und/oder zu einer Beeinträchtigung der ordnungsgemäßen Funktion von Brandschutzeinrichtungen, häufig durch den kurzzeitigen hohen Druckaufbau, geführt. Mehr als 10 % der bisher in der Datenbank OECD FIRE zu Brandereignissen in Kernkraftwerken waren HEAF-Ereignisse.

Großteils waren Schaltanlagen bzw. Schaltschränke auf Spannungsebenen im Bereich zwischen 0,4 kV und 10 kV betroffen, HEAF entsprechend der internationalen Definition trat aber auch an Sammelschienen, Rangierverteilern sowie an Hochspannungskabeln auf.

Zwar waren nur wenige der Ereignisse sicherheitstechnisch relevant, nahezu alle HEAF-Ereignisse sind aber zumindest als Precursor für sicherheitstechnisch bedeutende Ereignisse zu betrachten.

Bisher wurden Ereignisse mit hochenergetischem Versagen elektrischer Komponenten nicht explizit in probabilistischen Sicherheitsanalysen berücksichtigt, die Erfahrungen legen jedoch eine angemessene Berücksichtigung der Betriebserfahrung zu HEAF nahe. Um HEAF besser modellieren und charakterisieren zu können, sind aus Sicht der internationalen Fachleute weitere vertiefte Untersuchungen zwingend erforderlich.

Ausblick

Aufgrund der mittlerweile in der Task 'OECD HEAF' nachgewiesenen nicht unerheblichen sicherheitstechnischen Bedeutung von HEAF-Ereignissen mit dem Potential anlageninterner Brände sollen im Rahmen eines experimentellen OECD-Versuchsprogramms die Entstehungsmechanismen und die daraus folgenden Schädigungen und deren Mechanismen vertieft analysiert werden. Diese Versuche an real in Kernkraftwerken installierten typischen HEAF-Komponenten werden bei Sandia National Laboratories (SNL) in den USA stattfinden. Die an der Task 'OECD HEAF' beteiligten Mitgliedsländer werden sich an diesen experimentellen Untersuchungen dahingehend beteiligen, dass sie entsprechende Komponenten für die Versuche zur Verfügung stellen. Auf der Basis der im Rahmen des Vorhabens 3609R01310 ausgewerteten Fragenkataloges /KAT 11/ werden aus deutscher Sicht für die dort als besonders anfällig für HEAF identifizierten Komponenten, wie Hochspannungsschalter, Hoch- und Mittelspannungstransformatoren und Leistungskabel (Spannungsebene ≥ 400 V), vertiefte, experimentelle Untersuchungen zielführend erachtet.

Zudem sollen die physikalischen und chemischen Phänomene im Rahmen der OECD-Versuchsserie zu HEAF vertieften Analysen unterzogen und als dynamische Vorgänge charakterisiert werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der vertieften Untersuchungen soll dann ein Instrumentarium zur Bewertung des hochenergetischen Versagens elektrischer Komponenten mit möglicher Brandfolge entwickelt werden. Aus den nach Auswertung der Versuchsergebnisse zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Erkenntnissen sollen zudem möglichst auch Empfehlungen zur Vorbeugung und Vorsorge gegen HEAF-Ereignisse abgeleitet werden. Damit sollen die OECD-Aktivitäten mit den vertieften Untersuchungen der HEAF-Phänomene zu einer Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik bzgl. HEAF beitragen.

5 Referenzen

- /AKG 09/ Arbeitskreis Technische Gebäudeausrüstung der Fachkommission in der ARGEBAU (Hrsg.)
Muster einer Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauVO), Stand Januar 2009
- /ANS 11/ American Nuclear Society (ANS)
Proceedings of ANS PSA 2011 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment and Analysis, Wilmington, NC, March 13 - 17, 2011, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (USA), 2011
- /BER 09/ Berg, H. P., B. Forell, N. Fritze, M. Röwekamp
First National Applications of the OECD Fire Database, in: Proceedings of SMiRT 20, 11th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, August 17-19, 2009, Helsinki, Finland, 2009
- /BER 09a/ Berg, H. P., S. Katzer, J. Klindt, M. Röwekamp
Regulatory and Experts Position on HEAF and Resulting Actions in Germany, in: Proceedings of SMiRT 20, 11th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, August 17-19, 2009, Helsinki, Finland, 2009
- /BER 10/ Berg, H. P., B. Forell, N. Fritze, M. Röwekamp
Exemplary Applications of the OECD FIRE Database, in: Jahrestagung Kerntechnik 2010, Hrsg. Deutsches Atomforum, INFORUM-Verlag, Bonn, 2010
- /BRO 08/ Brown, J. W., S. P. Nowlen, F. J. Wyant
High Energy Arcing Fault Fires in Switchgear Equipment, A Literature Review, Sandia Report, SAND2008-4820, Albuquerque, NM (USA) and Livermore, CA (USA), October 2008

- /CHE 11/ Cherkas, G.
Recent Advances in High Energy Arc Faults (HEAF) at Nuclear Power Plants, in: Proceedings of SMiRT 21, 12th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, September 13 - 15, 2011, München, Germany, 2011
- /IEE 02/ Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations, IEEE-1584, 2002
- /KAT 11/ Katzer, S., J. Klindt, M. Röwekamp
High Energy Arcing Faults (HEAF) - Update of the German Operating Experience, in: Proceedings of SMiRT 21, 12th International Seminar on Fire Safety in Nuclear Power Plants and Installations, September 13 - 15, 2011, München, Germany, 2011
- /LOP 11/ Lopez, C., J. Brown, and S. Nowlen
Conceptual Test Plan for High Energy Arcing Faults Fire Experiments, Preliminary Draft, Sandia National Laboratories (SNL), Albuquerque, NM, USA; prepared for: Gabriel Taylor, U.S. NRC Office of Nuclear Regulatory Research, Division of Risk Analysis, Fire Research Branch, U.S. NRC Project Code: JCN N698, 2011
- /NFP 10/ National Fire Protection Association (NFPA)
NFPA 805: Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants, 2010 Edition, Quincy, MA, USA 2010
- /NFP 11/ National Fire Protection Association (NFPA)
NFPA-70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace[®], 2012 Edition, Quincy, MA, USA, 2011
- /NRC 05/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) Office of Nuclear Research, Electric Power Research Institute (EPRI)
Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities, Volume 2: Detailed Methodology, NUREG/CR-6850 (EPRI TR-10111989), EPRI/NRC-RES; September 2005

- /OEC 09/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Nuclear Energy Agency (NEA) Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)
 “Task on High Energy Arcing Events (HEAF)”, CAPS submitted to CSNI / IAGE and to CSNI/PRG, Version 9 October 2008 – revised with PRG Chair on 27 April 2009, Paris, 2009
- /OEC 09a/ Organisation for Economic Co-operation and Development (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 Developments”, NEA/CSNI/R(2009)6, Paris, September 2009
- /OEC 11/ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Nuclear Energy Agency (NEA)
 “OECD FIRE Database” (OECD FIRE DB 2010:1), Paris, July 2011
- /ROE 07/ Röwekamp, M., J. Klindt
 “Questionnaire on High Energy Electric Arc Faults, HEAF”, Draft including international comments, January 2007
- /ROE 07a/ Röwekamp, M., J. Klindt, S. Katzer
 “Internationaler Fragenkatalog zum hochenergetischen elektrischen Versagen (High Energy Electric (Arc) Faults, HEEF“, Dezember 2007
- /ROE 08/ Röwekamp, M., H. P. Berg
 PSA Significance of Events with Electrically Induced High Energy (Arcing) Faults, Paper 0060, in: Conference Proceedings of PSAM9 Conference, Hong Kong, China, Mai 2008
- /ROE 09/ Röwekamp, M., W. Frey, J. Klindt, S. Katzer
 Hochenergetisches elektrisches Versagen von Schaltanlagen, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3485, Köln; August 2009

/ROE 11/ Roewekamp, M.

High Energy Arcing Faults as Non-negligible Contributor to Nuclear Installation Safety – An International Perspective, in: Transactions of the American Nuclear Society, Vol. 104, Hollywood, Florida, June 26–30, 2011, pp. 491-492

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Lageplan des Kraftwerks GER14 mit Aufstellungsort der Maschinentransformatoren.....	21
Abb. 2-2:	Brennender Maschinentransformator AT01 im Kraftwerk GER14	22
Abb. 2-3:	Brennender Überspannungsableiter des AT01 im Kraftwerk GER14	23
Abb. 2-4:	Starke Rauchentwicklung durch brennendes Öl am Maschinentransformator AT01 im Kraftwerk GER14.....	23
Abb. 2-5:	Löscharbeiten durch die Feuerwehr.....	24
Abb. 2-6:	Zerstörte Transformatorwicklung mit verschmorter Isolation	24
Abb. 2-7:	Zerstörte Transformatorwicklung aus Kupfer	25
Abb. 2-8:	Abtransport des zerstörten Maschinentransformators AT01 im Kernkraftwerk GER14	25
Abb. 2-9:	Schematische Außenansicht des Kernkraftwerks GER09	121

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	HEAF-Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken	5
Tab. 2-2:	Relevante Bereiche für HEAF-Ereignisse am Beispiel der Anlage GER09	121
Tab. 3-1:	Matrix möglicher bei den HEAF-Zerstörungsversuchen zu unter- suchenden Komponenten aus unterschiedlichen Ländern (Stand: August 2011).....	135

Verteiler

Druckexemplare:

BMU

RS I5, Sperling	Herr Sperling	2 x
-----------------	---------------	-----

BfS

SK	Prof. u. Dir. Dr. Berg	3 x
----	------------------------	-----

Bibliothek	Herr Möller	1 x
------------	-------------	-----

GRS

Bibliothek Köln		1 x
-----------------	--	-----

Autoren	Frau Dr. Röwekamp	4 x
---------	-------------------	-----

	Herr Dr. Forell	1 x
--	-----------------	-----

GL

Autoren	Herr Katzer, Herr Klindt	je 1 x
---------	--------------------------	--------

Gesamtauflage		16 x
----------------------	--	-------------

PDF-Version:

Geschäftsführung	(wfp, stj)	je 1 x
------------------	------------	--------

Bereichsleiter	(erv, paa, prg, rot, stc, ver, zir)	je 1 x
----------------	-------------------------------------	--------

Abteilungsleiter	(mem)	1 x
------------------	-------	-----

Projektleitung	(row)	3 x
----------------	-------	-----

Projektbetreuung	(hab)	1 x
------------------	-------	-----

Informationsverarbeitung	(rop)	1 x
--------------------------	-------	-----

Autoren	(row, for, Katzer, Klindt)	je 1 x
---------	----------------------------	--------

**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