

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Schriften

Facharbeitskreis

Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SCHR-38/05

ISSN 0937-4469

ISBN 3-86509-415-5

Zur Beachtung!

BfS-Berichte und -Schriften sind kostenpflichtig und werden vertrieben vom

Wirtschaftsverlag NW / Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

Bürgermeister-Smidt-Straße 74-76

27568 Bremerhaven

Telefon: (04 71) 9 45 44-0

Salzgitter, Oktober 2005

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Schriften

Facharbeitskreis

Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

VORWORT

Der Facharbeitskreis PSA ist ein vom BMU einberufenes und vom BfS geleitetes Gremium technischer Experten, die bei Behörden, Sachverständigenorganisationen, Herstellern, Betreibern und Beratern auf dem Gebiet der PSA tätig sind.

Der Facharbeitskreis hatte bereits im Zeitraum 1993 bis 1996 zwei Fachbände zu Methoden und Daten für die PSA erarbeitet, auf die im behördlichen PSA-Leitfaden für die PSÜ Bezug genommen wird. Diese Beratungsergebnisse des Facharbeitskreises sind vom BfS veröffentlicht worden:

- Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke: Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Dezember 1996 - BfS-KT-16/97,
- Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke: Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen, April 1997 – BfS.KT-17/97.

Nicht zuletzt im Hinblick auf die Erfordernisse der Sicherheitsüberprüfung (SÜ) gemäß § 19a AtG wurden diese, in der aufsichtlichen Praxis bewährten Unterlagen unter erheblicher Ausweitung des Analyseumfangs überarbeitet und aktualisiert. Die o.g. Berichte umfassen die PSA der Stufe 1⁺ ohne Einwirkungen von Außen (EVA) unter Beschränkung auf Zustände des Leistungsbetriebs. Für die vorliegenden Bände reicht die Analysentiefe für den Leistungsbetrieb nunmehr bis zur Stufe 2, für den Nichtleistungsbetrieb umfasst sie die Stufe 1. EVA-Ereignisse werden in der Analyse auf den Leistungsbetrieb und auf die Stufe 1 begrenzt. Hinsichtlich der eingeflossenen fachlichen Grundlagen sind u.a. auch Berichte aus vom Bund finanzierten Vorhaben angegeben, die nicht publiziert worden sind, aber aufgrund ihrer Einschlägigkeit unverzichtbar waren. Bei Bedarf wird hierzu eine entsprechende Anfrage beim Auftraggeber empfohlen.

Angesichts der Komplexität der PSA-Methodik, der sich nach wie vor vollziehenden Weiterentwicklungen insbesondere im internationalen Bereich und der unterschiedlichen Blickwinkel der verschiedenen Gruppierungen im Facharbeitskreis kann es nicht überraschen, dass es zu Teilaspekten der Methodik, des Analyseumfangs und der Analysentiefe unterschiedliche Auffassungen gibt. Das Gremium hat sich in seiner Arbeit stets bemüht, abweichende Positionen festzuhalten, diese einem Konsens zuzuführen oder aber die zukünftige Arbeit auf dieses Ziel auszurichten.

Es besteht weiterhin Übereinstimmung im Facharbeitskreis PSA darüber, dass eine weitere Fortschreibung zur Durchführung von Methoden der PSA für Kernkraftwerke erforderlich ist. Konkret könnte eine Aktualisierung in einem Zeitraum von drei bis vier Jahren weiteren methodischen Fortschritt berücksichtigen und einen noch weitergehenden Konsens in Einzelfragen erreichen. Insbesondere sollte die erste neuerliche Aktualisierung der PSA-Fachbände nach dem ersten SÜ-Projekt, bei dem diese Unterlagen volle Anwendung finden, erfolgen, damit die Erfahrungen aus diesem „Pilotprojekt“ den zukünftigen Projekten zu Gute kommen.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT	1
INHALTSVERZEICHNIS	3
ANHANGVERZEICHNIS	6
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
VERZEICHNIS DER TABELLEN	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
1 EINLEITUNG	13
1.1 LITERATUR	14
2 ERMITTLUNG ANLAGENSPEZIFISCHER ZUVERLÄSSIGKEITS KENNGRÖSSEN	15
2.1 DEFINITIONEN	15
2.1.1 Anlagenbezogene Begriffe	15
2.1.1.1 Betrachtungseinheiten	15
2.1.1.2 Abgrenzung der Betrachtungseinheiten	24
2.1.2 Ereignisbezogene Definitionen	24
2.1.3 Definition von Bezugszeiten und Schaltspielen	26
2.1.4 Statistische Definitionen	26
2.2 ERFASSUNG DER NOTWENDIGEN INFORMATIONEN	27
2.2.1 Anlagendaten	27
2.2.1.1 Kennzeichnungssystem und Erfassungstiefe	27
2.2.1.2 Vorgehensweise bei der Erfassung der Anlagendaten	29
2.2.1.3 Festlegung der zu betrachtenden Systeme	29
2.2.2 Störereignisdaten und Nichtverfügbarkeitszeiten	32
2.2.2.1 Erfassung der Störereignisdaten	32
2.2.2.2 Erfassung nicht störungsbedingter Nichtverfügbarkeitszeiten	35
2.2.2.3 Bezugszeiten und Anforderungshäufigkeiten	35
2.3 AUSLÖSENDE EREIGNISSE	46
2.3.1 Erfassung der anlagenspezifischen Ereignisse	46
2.4 TESTINTERVALLE	46
2.5 ERFOLGSWAHRSCHEINLICHKEITEN VON REPARATURMASSNAHMEN	47
2.6 LITERATUR	47
3 AUSWERTUNG ANLAGENSPEZIFISCHER AUSFALLEREIGNISSE	49
3.1 ALLGEMEINES	49
3.2 FREQUENTISTISCHE AUSWERTUNG	50
3.2.1 Ausfallraten	50
3.2.2 Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Anforderung	51
3.3 BAYES'SCHE AUSWERTUNG VON ZUVERLÄSSIGKEITSKENNGRÖSSEN	52
3.3.1 Ausfallraten	53
3.3.2 Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung	56
3.4 SCHÄTZUNG DER AUSFALLRATE BEI PERIODISCH GETESTETEN KOMPONENTEN	58

3.5	ERMITTLUNG DER ANLAGENSPEZIFISCHEN ZUVERLÄSSIGKEITSKENNGRÖSSEN FÜR NLB..	58
3.5.1	<i>Eintrittshäufigkeiten auslösender Ereignisse bei Nichtleistungsbetrieb.....</i>	59
3.5.2	<i>Zuverlässigkeitskenngrößen im Nichtleistungsbetrieb</i>	60
3.6	LITERATUR	61
4	ERMITTLUNG DER HÄUFIGKEITEN VON LECKS UND BRÜCHEN IN ROHRLEITUNGEN	63
4.1	VORBEMERKUNG	63
4.2	EINLEITUNG	63
4.3	ERMITTLUNG VON LECKHÄUFIGKEITEN	64
4.3.1	<i>Grundlagen.....</i>	64
4.3.2	<i>Klassifizierung der Lecks.....</i>	65
4.3.3	<i>Datenbeschaffung</i>	67
4.3.3.1	<i>Nennweitenbereich $DN < 50$</i>	68
4.3.3.2	<i>Nennweitenbereich $50 \leq DN \leq 150$</i>	69
4.3.3.3	<i>Nennweitenbereich $DN > 150$</i>	71
4.3.3.3.1	<i>Nennweitenbereich $150 < DN < 250$.....</i>	71
4.3.3.3.2	<i>Nennweitenbereich $DN \geq 250$, ohne Hauptkühlmittelleitung</i>	71
4.3.3.3.3	<i>Hauptkühlmittelleitung</i>	72
4.3.4	<i>Beispiel: Berechnung der Häufigkeit eines Bruches im TA-System (Volumenregelsystem) eines DWR</i>	72
4.4	LITERATUR	76
5	GENERISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSDATEN	79
5.1	AUSLÖSENDE Ereignisse	79
5.2	DATEN FÜR KOMPONENTEN	79
5.3	GENERISCHE NICHTVERFÜGBARKEITEN	80
5.4	LITERATUR	80
6	DATEN ZUR QUANTIFIZIERUNG DER BRANDSPEZIFISCHEN EREIGNISABLAUFDIAGRAMME	81
6.1	EINFÜHRUNG	81
6.2	BRANDEINTRITTS-HÄUFIGKEIT	81
6.3	QUANTIFIZIERUNG DES BRANDSPEZIFISCHEN EREIGNISBAUMES.....	87
6.3.1	<i>Brandmeldung</i>	87
6.3.2	<i>Raumabschluss</i>	88
6.3.2.1	<i>Brandschutztüren</i>	88
6.3.2.2	<i>Brandschutzklappen.....</i>	89
6.3.3	<i>Brandbekämpfung</i>	90
6.3.4	<i>Ausfallraten aktiver Brandschutzeinrichtungen</i>	93
6.4	LITERATUR	94
7	BANDBREITEN FÜR VERZWEIGUNGSWAHRSCHEINLICHKEITEN IM UNFALLABLAUFBAUM	96
7.1	VORBEMERKUNG	96
7.2	DRUCKENTLASTUNG DES REAKTORKÜHLKREISLAUFS	97
7.2.1	<i>Beschreibung.....</i>	97
7.2.2	<i>Methoden zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit einer Druckentlastung</i>	98
7.2.2.1	<i>Methode zur Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeit der primärseitigen Druckentlastung</i>	98
7.2.2.2	<i>Methode zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit des Primärkreises</i>	98
7.2.2.2.1	<i>Versagen der Primärkreisleitung</i>	98

	Seite
7.2.2.2.2 Versagen der Dampferzeugerheizrohre	99
7.2.3 <i>Beispiele zur Druckentlastung des RKL</i>	100
7.2.3.1 Beispiel für Zeitbereiche zur aktiven Druckentlastung	100
7.2.3.2 Beispiel für die Versagenswahrscheinlichkeit der Dampferzeugerrohre (EPR)	101
7.2.3.3 Beispiel für Versagen der heißen Primärkreisleitungen	102
7.2.4 <i>Empfehlung</i>	102
7.3 RÜCKHALTUNG EINES TEILERSTÖRTEN KERNS IN KÜHLBARER KONFIGURATION	103
7.3.1 <i>Beschreibung</i>	103
7.3.2 <i>Methode zur Ermittlung der Verzweigungswahrscheinlichkeit zur Kernrückhaltung</i>	103
7.3.3 <i>Beispiel für Konvoi</i>	104
7.3.4 <i>Empfehlung</i>	104
7.4 SCHMELZE-WASSER-WECHSELWIRKUNG	105
7.4.1 <i>Beschreibung</i>	105
7.4.2 <i>Methode zur Wahrscheinlichkeitsermittlung der Folgen einer Dampfexplosion</i> ...	105
7.4.3 <i>Beispiele</i>	106
7.4.3.1 Beispiel für den EPR	106
7.4.3.2 Beispiel für eine Konvoi-Anlage	109
7.4.4 <i>Empfehlungen</i>	110
7.5 WASSERSTOFFVERBRENNUNG	111
7.5.1 <i>Beschreibung</i>	111
7.5.2 <i>Methode zur Ermittlung der SHB-Reaktion auf H₂-Verbrennung</i>	111
7.5.3 <i>Beispiel zur Ermittlung der Menge des Wasserstoffs</i>	112
7.5.4 <i>Beispiel zur Ermittlung von Zündquellen und Zündwahrscheinlichkeiten</i>	113
7.5.4.1 Vor RDB-Versagen	113
7.5.4.2 Beim RDB-Versagen	114
7.5.4.3 Nach RDB-Versagen	114
7.5.5 <i>Beispiel zu Ermittlung der Verbrennungslasten</i>	115
7.5.5.1 Globale Bewertung von Verbrennungslasten	115
7.5.5.2 Beispiel für Verbrennungslasten auf EPR-SHB	117
7.5.6 <i>Empfehlung</i>	118
7.6 VERSAGEN DES RDB UNTER HOHEM PRIMÄRKREISDRUCK	118
7.6.1 <i>Beschreibung</i>	118
7.6.2 <i>Methoden zur Beschreibung der Phänomene beim Hochdruckversagen des RDB</i>	119
7.6.2.1 <i>Methode zur Ermittlung des RDB-Versagens</i>	119
7.6.2.1.1 Siedewasserreaktor, nicht benetzter RDB-Boden	119
7.6.2.1.2 Siedewasserreaktor, benetzter RDB-Boden	119
7.6.2.1.3 Druckwasserreaktor, unbenetzter Boden	120
7.6.2.1.4 Ständig benetzter DWR- oder SWR-Boden, äußere Wärmeabfuhr gewährleistet	120
7.6.2.2 <i>Methode zur Ermittlung der Auswirkungen auf den SHB</i>	120
7.6.3 <i>Beispiele</i>	121
7.6.3.1 <i>Beispiel zum RDB-Versagen</i>	121
7.6.3.1.1 Versagen eines ständig benetzten RDB-Bodens	121
7.6.3.1.2 Experimente bei Sandia zum RDB-Versagen unter hohem Innendruck (10 MPa)	122
7.6.3.2 <i>Beispiele zum SHB-Versagen als Folge des Versagens des RDB unter hohem Druck</i>	122
7.6.3.2.1 Annahme „RDB Rakete“	122
7.6.3.2.2 Direct Containment Heating entsprechend Abschnitt 7.6.2.2 A):	123
7.6.3.2.3 Beispiel zur DCH Belastung bei Konvoi entsprechend Abschnitt 7.6.2.2 B):	124

	Seite
7.6.3.2.4 Beispiel zu Abschnitt 7.6.2.2 C):	124
7.6.4 Empfehlung	124
7.6.4.1 RDB-Versagen	124
7.6.4.2 Versagen des SHB durch Trümmer	125
7.6.4.3 Versagen des SHB durch DCH	125
7.7 KÜHLBARKEIT VON WASSERÜBERDECKTEN KERNMATERIALIEN	125
7.7.1 Beschreibung.....	125
7.7.2 Methode zur Bewertung der Kühlbarkeit	126
7.7.3 Beispiel.....	126
7.7.4 Empfehlung	127
7.8 KERNMATERIAL-BETON-WECHSELWIRKUNG	127
7.8.1 Beschreibung.....	127
7.8.2 Methode zur Bewertung der Schmelze-Beton-Wechselwirkung	128
7.8.3 Beispiel.....	129
7.8.4 Empfehlungen	129
7.9 DRUCKAUFBAU IM SHB	130
7.9.1 Beschreibung.....	130
7.9.2 Methode.....	130
7.9.3 Beispiele.....	131
7.9.3.1 EPR.....	131
7.9.3.2 Konvoi	132
7.9.4 Empfehlung	132
7.9.4.1 Bestimmung des Zeitbereiches bis zur Einleitung der Druckentlastung	132
7.9.4.2 Überdruckversagen.....	132
7.10 LITERATUR.....	133

ANHANGVERZEICHNIS

ANHANG A: GENERISCHE GVA-WAHRSCHEINLICHKEITEN	A1
--	-----------

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Bild 2-1:	Abgrenzung der Betrachtungseinheiten	17
Bild 2-2:	Grenzen der Funktionseinheit Dieselanlage und der zugehörigen Hilfssysteme	23
Bild 6-1:	Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit für den Löscherfolg beim Einsatz transportabler Feuerlöschgeräte als Funktion der Zeit zwischen Brandmeldung und Beginn der Löschaktion.....	91
Bild 7-1:	Versagenstemperatur von Dampferzeugerheizrohren in Abhängigkeit des Differenzdruckes für verschiedene Zeitbereiche mit und ohne Vorschädigung	101
Bild 7-2:	Wahrscheinlichkeit der Wiederkühlbarkeit eines teilzerstörten Kerns in Ab- hängigkeit des Zerstörungsgrades des Kerns beim Bespeisungsbeginn....	104
Bild 7-3:	Kumulative und diskrete Verteilungsfunktionen der RDB Lastabtragung....	108
Bild 7-4:	Kumulierte Häufigkeit für AICC Druck in einem SHB einer Konvoi-Anlage..	118
Bild 7-5:	Zeitbereich für die Erreichung verschiedener Druckniveaus im EPR SHB ..	131

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Seite

Tabelle 2-1:	Beschreibung von Funktionseinheiten	18
Tabelle 2-2:	Beispiel Anlagenverzeichnis Kennzeichnungssystem AKZ mit BM-Stufe aus KKS	30
Tabelle 2-3:	Erfassungsmerkmale	36
Tabelle 2-4:	Zusätzliche Erfassungsmerkmale	44
Tabelle 4-1:	Klassifizierungselemente für Lecks.....	67
Tabelle 4-2:	Beispiele für Bruch-zu-Leck-Verhältnisse im Nennweitenbereich < 50:	69
Tabelle 4-3:	Beispiele für Bruch-zu-Leck-Verhältnisse im Nennweitenbereich 50 ≤ DN ≤ 150:	70
Tabelle 4-4:	Repräsentative Einträge in die Liste der Rohrleitungen mit leckrele- vanten Stellen an Rohrleitungen im Volumenregelsystem eines DWR.....	73
Tabelle 4-5:	Anzahl der leckrelevanten Stellen für Rohrleitungen im TA-System für verschiedene Nennweiten in den DWR-Gruppen A, B und C	74

Tabelle 4-6:	Beobachtete Lecks in Rohrleitungen der Volumenausgleichssysteme deutscher KKW (Referenzzeit: 191 Jahre).....	75
Tabelle 4-7:	Kenngößen der Verteilung für die Bruchhäufigkeit pro leckrelevanter Stelle $\lambda_B^* \left(\frac{1}{a} \right)$ ($50 \leq DN \leq 100$) im Referenzfall und für zwei Vergleichsfälle	76
Tabelle 6-1:	Brandeintrittshäufigkeiten während des Leistungsbetriebes, zugeordnet zu Hauptzündquellen und Anlagenbereichen.....	83
Tabelle 6-2:	Brandeintrittshäufigkeiten während des Leistungsbetriebes, zugeordnet zu sonstigen Zündquellen	84
Tabelle 6-3:	Kennwerte im Verfahren von Berry	86
Tabelle 6-4:	Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Branderkennung bzw. -meldung im Anforderungsfall.....	88
Tabelle 6-5:	Wahrscheinlichkeit für das Versagen der passiven Brandschutzmaßnahmen im Anforderungsfall	89
Tabelle 6-6:	Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Brandlöschung im Anforderungsfall.....	92
Tabelle 6-7:	Ausfallraten aktiver Brandschutzeinrichtungen	93
Tabelle 7-1:	Verfügbare Zeit beim EPR in Minuten für die primärseitige Druckentlastung (PDE) zur Vermeidung des RDB-Versagens	100
Tabelle 7-2:	Resultate für bedingte Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Schäden am Reaktorkühlkreislauf (RKL)	110
Tabelle 7-3:	SHB-Druck als Folge von Schmelze- und Wasserstoffeintrag	124

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Nicht aufgenommen sind chemische Symbole sowie Namen von Programm-Codes, Programmpaketen sowie Versuchsreihen.

A

AHWS	Ausfall Hauptwärmesenke
AHSpW	Ausfall Hauptspeisewasser
AICC	Vollständige adiabatische isochore Verbrennung (von engl.: adiabatic isochoric complete combustion)
AKZ	Anlagenkennzeichnungssystem
ASEP	Eine in der HRA angewandte Methodik (von engl.: Accident Sequence Evaluation Program)
AtG	Atomgesetz
ATWS	Transienten mit Ausfall der Reaktorschnellabschaltung (von engl.: Anticipated Transients without Scram)
AV	Abblaseventil

B

BE	Brennelement
BFR	Mathematisches Modell für GVA-Berechnungen (von engl.: Binominal Failor Rate)
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BHB	Betriebshandbuch
BMI	Bundesministerium des Innern
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

D

DCH	schnelle Aufheizung der Reaktorsicherheitsbehälter-Atmosphäre durch fein ver- teiltes Kernmaterial infolge des Reaktordruckbehälterversagens unter höherem Druck (von engl.: Direct Containment Heating)
DDT	Deflagrations-Detonations-Übergang (von engl.: Deflagration-to-Detonation Transition)
DE	Dampferzeuger
DH	Druckhalter
DK	Druckkammer
DOE	Energieministerium der USA (von engl.: Department of Energy)
DWR	Druckwasserreaktor

E

EB	Eigenbedarf [-sversorgung]
EDW	Explosionsdruckwelle
EF	Unsicherheitsfaktor (von engl.: Error Factor)
EPR	Europäischer Druckwasser-Reaktor (von engl.: E uropean P ressurized Water R eactor)
EPRI	Forschungsinstitut der US-amerikanischen Energie-Versorgungs-Unternehmen (von engl.: Electric Power Research Institute)
EVA	Einwirkungen von Außen

F

FD	Frischdampf-
FDU	Frischdampf-Umleitstation

G

GBW	Gebäude-Boden Wechselwirkung
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH
GVA	Gemeinsam verursachte Ausfälle
H	
HD	Hochdruck-
HKM	Hauptkühlmittel
HKMP	Haupt-Kühlmittelpumpen
HRA	Analyse menschlicher Zuverlässigkeit (von engl.: Human Reliability Analysis)
HSpW	Hauptspeisewasser
HWS	Hauptwärmesenke
I	
IAEA	Internationale Atomenergie-Behörde (von engl.: International Atomic Energy Agency)
ICDE	Internationale Datenbank (der NEA) zu GVA-Ereignissen (von engl.: International Common Cause Data Exchange)
K	
KK	Kondensationskammer
KKS	Kraftwerkskennzeichnungssystem
KKW	Kernkraftwerk
KMD	Kühlmitteldruck
KMT	Kühlmitteltemperatur
KMV	Kühlmittelverlust [-störfall]
KSZ	Kernschadenzustand
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
L	
LB	Leistungsbetrieb
LER	Störfallmeldungen der US-amerikanischen Betreiber (von engl.: Licensee Event Reports)
M	
MGL	Mathematisches Modell für GVA-Berechnungen (von engl.: Multiple Greek Letters)
N	
ND	Niederdruck-
NEA	Nuklear-Energie Agentur der OECD (von engl.: Nuclear Energy Agency)
NHB	Notfallhandbuch
NKK	Notkühlkriterien
NLB	Nichtleistungsbetrieb
NPE	Datenbank auf Basis ausgewerteter LER (von engl.: Nuclear Power Experience)
NRC	US-amerikanische Aufsichtsbehörde (von engl.: Nuclear Regulatory Commission)
NWA	Nachwärmeabfuhr
O	
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (von engl.: Organization for Economic Co-operation and Development)
OKG	Oberes Kerngerüst
P	
PH	Personalhandlung
PHB	Prüfhandbuch

PKL	Primärkreisleitung
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSF	leistungsbeeinflussender Faktor (von engl.: Performance Shaping Factor)
PSSA	Probabilistische seismische Sicherheits-Analyse

Q

QS	Qualitätssicherung
----	--------------------

R

RDB	Reaktordruckbehälter
RESA	Reaktor-Schnellabschaltung
RF	Reaktorfahrer
RKL	Reaktorkühlkreislauf
RKS	Reaktorkühlschleifen
RR	Ringraum
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission

S

SBWW	Schmelze-Beton-Wechselwirkung
S+E	Sicherheits- und Entlastungsventil beim SWR
SHB	Sicherheitsbehälter
SiV	Sicherheitsventil
SL	Schichtleiter
SPRA	Probabilistische seismische Sicherheits-Analyse, synonym auch: PSSA (von engl.: Seismic Probabilistic Risk Analysis)
SpW	Speisewasser
SSA	Sicherheitsstatus-Analyse
SSL	Stellvertretender Schichtleiter
SÜ	Sicherheitsüberprüfung
SWR	Siedewasserreaktor

T

THERP	eine in der HRA angewandte Methodik (von engl.: Technique of Human Error Rate Prediction)
TUSA	Turbinen-Schnellabschaltung

U

UAB	Unfallablaufbaum
UK	Unterkante

W

WKP	Wiederkehrende Prüfung
-----	------------------------

1 EINLEITUNG

Probabilistische Analysen in Form von Zuverlässigkeitsanalysen für ausgewählte Sicherheitseinrichtungen von Kernkraftwerken werden in der Bundesrepublik Deutschland seit etwa drei Jahrzehnten für Zwecke der Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken durchgeführt. Methodische Weiterentwicklungen, zunehmende Anwendererfahrungen sowie die verbesserte Qualität der Datenbasis zu Betriebs- und Ausfallverhalten von Komponenten bzw. Systemen ermöglichten eine schrittweise Ausweitung der Zuverlässigkeitsanalysen. Analysemethoden, Analyseumfang, Analysentiefe sowie Vorgehensweise für die Ergebnisdarstellung und -auswertung der Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) sind in /MET 05/ beschrieben.

Im vorliegenden Fachband wird - in Verbindung mit /MET 05/ - die Methodik zur Ermittlung der Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen für eine PSA dargestellt. Durch eine detaillierte Darstellung empfohlener Vorgehensweisen soll die Verfahrenssicherheit zur Sicherheitsbeurteilung bestehender Kernkraftwerke verbessert und die Begutachtung erleichtert werden.

Zur Quantifizierung der Ereignisablaufdiagramme und Fehlerbäume einer PSA benötigt man folgende Kenngrößen:

- Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse,
- Ausfallraten/Nichtverfügbarkeiten von Komponenten auf Grund von unabhängigen Ausfällen,
- Ausfallraten/Nichtverfügbarkeiten von Komponenten auf Grund von gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA),
- Nichtverfügbarkeiten infolge von Instandhaltung einschließlich Prüfung,
- Fehlerwahrscheinlichkeiten für Personalhandlungen,
- Prüfindteralle.

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für fehlerhafte Personalhandlungen und GVA wird in /MET 05/ behandelt.

Nachfolgend wird nur auf die Zuverlässigkeitskenngrößen für technische Komponenten und für auslösende Ereignisse eingegangen, die nach /MET 05/, /BDA 89/ anlagenspezifisch ermittelt werden sollen.

Die Forderung nach anlagenspezifischen Kenngrößen kann nur erfüllt werden, wenn die Komponenten hinreichend lang beobachtet worden sind. Ist dies für die Komponenten der zu untersuchenden Anlage nicht gegeben, so sind generische Daten unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Erfahrungen und Gegebenheiten anzuwenden (siehe Kapitel 5).

Die anlagenspezifische Kenngrößenermittlung muss sicherstellen, dass

- eine systematische und möglichst vollständige Erfassung von Störereignissen (Definition s. Abschnitt 2.1.2) erfolgt,
- die Störereignisse so erfasst werden, dass die notwendigen Eingangsinformationen für die Ereignisablauf- und Fehlerbaumanalyse vorliegen,
- alle sicherheitsrelevanten Systemfunktionen und die zu ihrer Erfüllung notwendigen Komponenten erfasst werden,
- die Komponentenabgrenzung eindeutig und im Hinblick auf die Fehlerbaumanalyse möglichst detailliert festgelegt sowie nachvollziehbar dokumentiert ist,
- der Datenerfassung ein Ausfallartenschlüssel zugrunde liegt, der mit dem in der Fehlerbaumanalyse verwendeten übereinstimmt oder diesem angepasst werden kann,

- die Vergleichbarkeit der Daten zwischen den Anlagen gegeben ist; sie dient u.a. der Gewinnung von generischen Zuverlässigkeitskenngrößen.

Darüber hinaus kann eine Überprüfung der Modellierung der Ereignisabläufe und Fehlerbäume unter Berücksichtigung der Betriebserfahrungen erfolgen.

Vier wesentliche Arten von Informationen werden zur Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen benötigt:

- Anlagendaten (Stammdaten),
- Störereignisdaten, (Quelle: Ereignisberichte),
- Nichtverfügbarkeitszeiten,
- Bezugszeiten bzw. Häufigkeiten von Anforderungen (Quelle: Betriebsberichte).

Die Anlagendaten umfassen im Wesentlichen Angaben zu Anzahl, Bauart, Hersteller, Herstellertyp und Betriebsbedingungen der Komponenten und Betriebsmittel.

Grundlage der Störereignisdatenerfassung sind in der Regel Störmeldungen und die Dokumentation für die Instandhaltung. Diese sollte u.a. folgende Angaben enthalten:

- Informationen zur Ausfallentdeckung (Zeitpunkt, Art und Auswirkung des Schadens, Art der Ausfallerkennung),
- Feststellen der Ausfallart,
- Informationen zur Störungsursache.

Um die aufgetretenen Ausfälle vollständig zu erfassen, müssen gegebenenfalls weitere Unterlagen, in denen Störereignisse dokumentiert werden, hinzugezogen werden, z.B. bei Leittechnikausfällen.

Als Bezugszeit für die Berechnung von Ausfallraten auf der Grundlage der beobachteten Schäden werden je nach Komponenten- und Ausfallart die Kalenderzeit, die Anlagenbetriebszeit oder die Komponentenbetriebszeit verwendet. Für die Ermittlung von Nichtverfügbarkeiten bei Anforderung werden die Häufigkeiten der Komponentenanforderungen benötigt.

1.1 LITERATUR

- /BDA 89/ Abschlussbericht über Ergebnisse der Sicherheitsüberprüfung der Kernkraftwerke der Bundesrepublik Deutschland durch die RSK,
Empfehlung der RSK von ihrer 238. Sitzung am 23.11.1988,
BANz. Nr. 47a, März 1989
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05

2 ERMITTLUNG ANLAGENSPEZIFISCHER ZUVERLÄSSIGKEITSKENNGRÖSSEN

2.1 DEFINITIONEN

Die bei der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen verwendeten Begriffe werden nachfolgend definiert. Dabei wird unterschieden zwischen

- anlagenbezogenen Definitionen (System/Komponente/Betriebsmittel),
- ereignisbezogenen Definitionen (Ausfall, Test) und
- Bezugszeiten und Anforderungen.

2.1.1 Anlagenbezogene Begriffe

Die Festlegung und Abgrenzung der verwendeten Begriffe für die Arten der Betrachtungseinheiten erfolgt entsprechend den in /HÖR 80/ benutzten. Im Bild 2-1 ist die Betrachtungseinheit Teilstrang anhand eines Beispiels bis zum Betriebsmittel aufgegliedert. In Tabelle 2-1¹ ist diese Aufgliederung für die wichtigsten Funktionseinheiten beispielhaft angegeben.

Die Kennzeichnung der jeweiligen Betrachtungseinheit ergibt sich aus dem in der jeweiligen Anlage verwendeten Kennzeichnungssystem (AKZ bzw. KKS).

2.1.1.1 Betrachtungseinheiten

Bei der Festlegung der Komponentengrenzen ist die grundlegende Forderung zu beachten, dass die der Datenerfassung und der Fehlerbaumanalyse zugrundeliegenden Komponentengrenzen bzw. Funktionselement-Grenzen übereinstimmen oder aneinander angepasst werden müssen. Dieser Grundsatz ist auch bei der Einbeziehung einer generischen Datenbasis zu berücksichtigen. In der Praxis ist häufig der Fall anzutreffen, dass zumindest ein Teil der Datenerfassung nach der Erstellung der Fehlerbäume erfolgt, wobei auf Kompatibilität der erfassten Daten mit den Eingabeerfordernissen für die Fehlerbäume zu achten ist.

Zur Vereinheitlichung der Datenbasis werden nachfolgende Definitionen vorgegeben:

- Betrachtungseinheit
Technische Einrichtung unterschiedlichen Umfangs, die eine oder mehrere Funktionen erfüllt und für die eine probabilistische Aussage zu treffen ist.
- Betriebsmittel
Kleinste Einheit, die betrachtet wird. Sie ist in sich funktionsfähig, einbauortneutral und austauschbar.
Beispiele: Elektromotor, Pumpe ohne Antrieb, Dieselmotor, Geber, Antriebssteuerbaugruppe usw.
- Komponente
Einheit, die eine selbständige Funktion innerhalb eines Prozesses wahrnimmt mit zugehörigen Betätigungs- und Vorrangbausteinen und Abzweig, aber ohne eventuell notwendige Schutzeinrichtungen und Hilfssysteme, wie z.B. Ölversorgung oder Sperrwasser (vgl. Tabelle 2-1). Von der vorgeschlagenen Abgrenzung kann in begründeten Fällen abgewichen werden.

¹ Die Komponentenabgrenzung in einzelnen Datenbanken, z.B. ZEDB /VGB 02/, EIREDA /PRO 95/ kann unterschiedlich sein.

Dabei muss aber die Möglichkeit erhalten bleiben, die Einzelergebnisse der Gesamtkomponente in der oben beschriebenen Abgrenzung zuzuweisen.

Beispiele: Pumpe mit Motor, Kupplung, Schalter, Antriebssteuerebene; Temperaturregelschaltung mit Schutzrohr, Messwertgeber, Messumformer, Analogverteilerbaugruppe, Trennbaugruppe, Grenzwertgeber.

- **Anregeeinheit**
Anregeeinheit umfasst die Logikebene (z.B. Reaktorschutzlogik), aus der eine Komponenten- oder Systemfunktion angeregt bzw. angesteuert wird.
Grenzen: Ab Ausgang Grenzsensgeber/Binärsignalüberwachungsbaugruppe bis zum Eingang der Vorrang- bzw. Betätigungsbauteile der angesteuerten Komponenten.
- **Funktionseinheit**
Komponente einschließlich ihrer zugehörigen Schutzvorrichtung, Hilfs- und Versorgungseinrichtungen,
Beispiel: Diesel (vergl. Bild 2-2).
- **Teilstrang, Teilsystem**
Teil eines Systems, der alleine oder in Kombination mit anderen Teilsystemen eine Funktion innerhalb des Systems wahrnehmen kann.
Beispiel: Nachkühlstrang.
- **System**
Zusammenschaltung von Komponenten mit einer Steuerung und ggf. einer Regelung zur Erfüllung einer selbständigen Aufgabe innerhalb des Gesamtprozesses.
Beispiele: Kühlwassersystem, Frischdampfsystem.

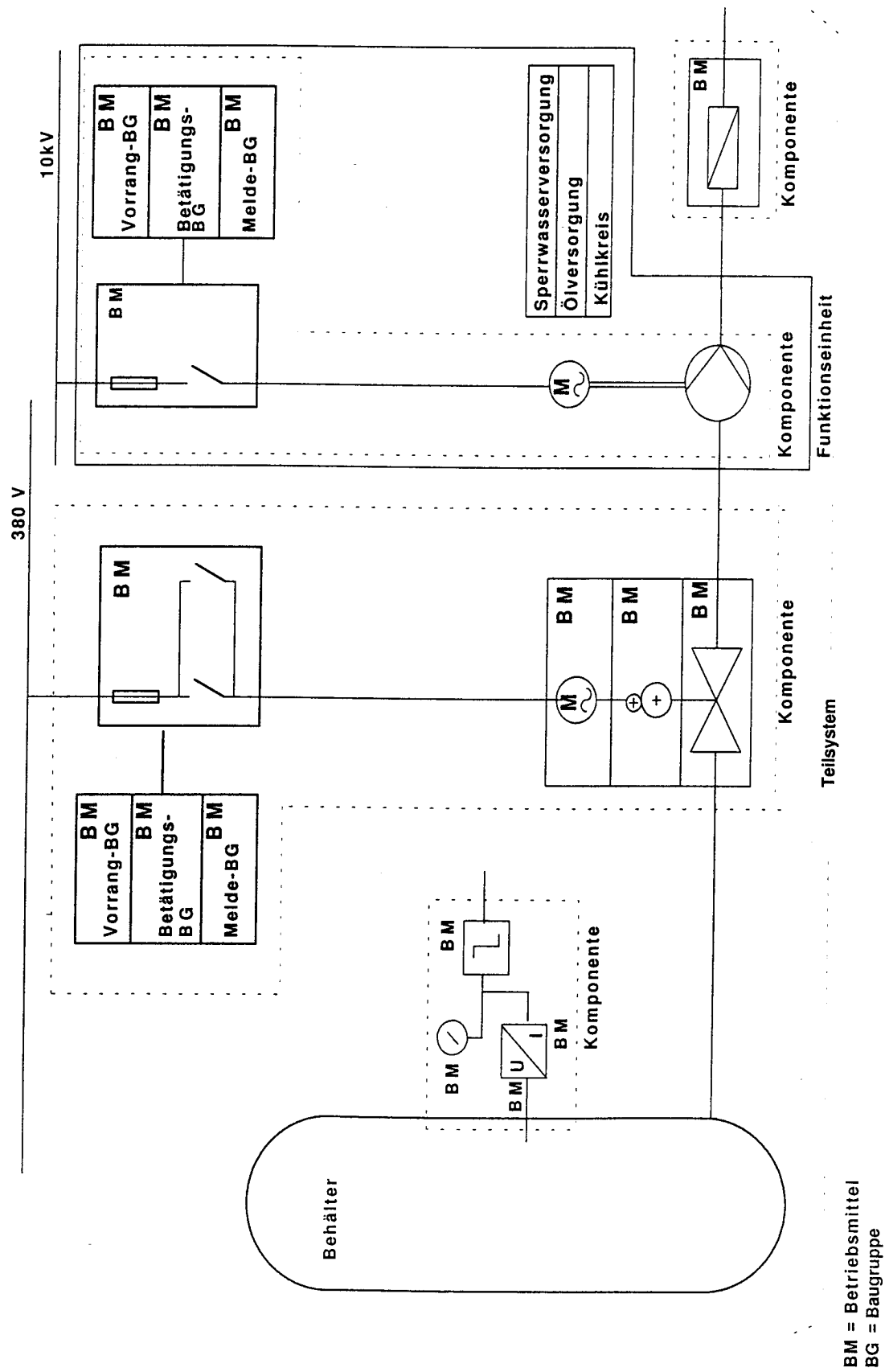


Bild 2-1: Abgrenzung der Betrachtungseinheiten

Tabelle 2-1: Beschreibung von Funktionseinheiten

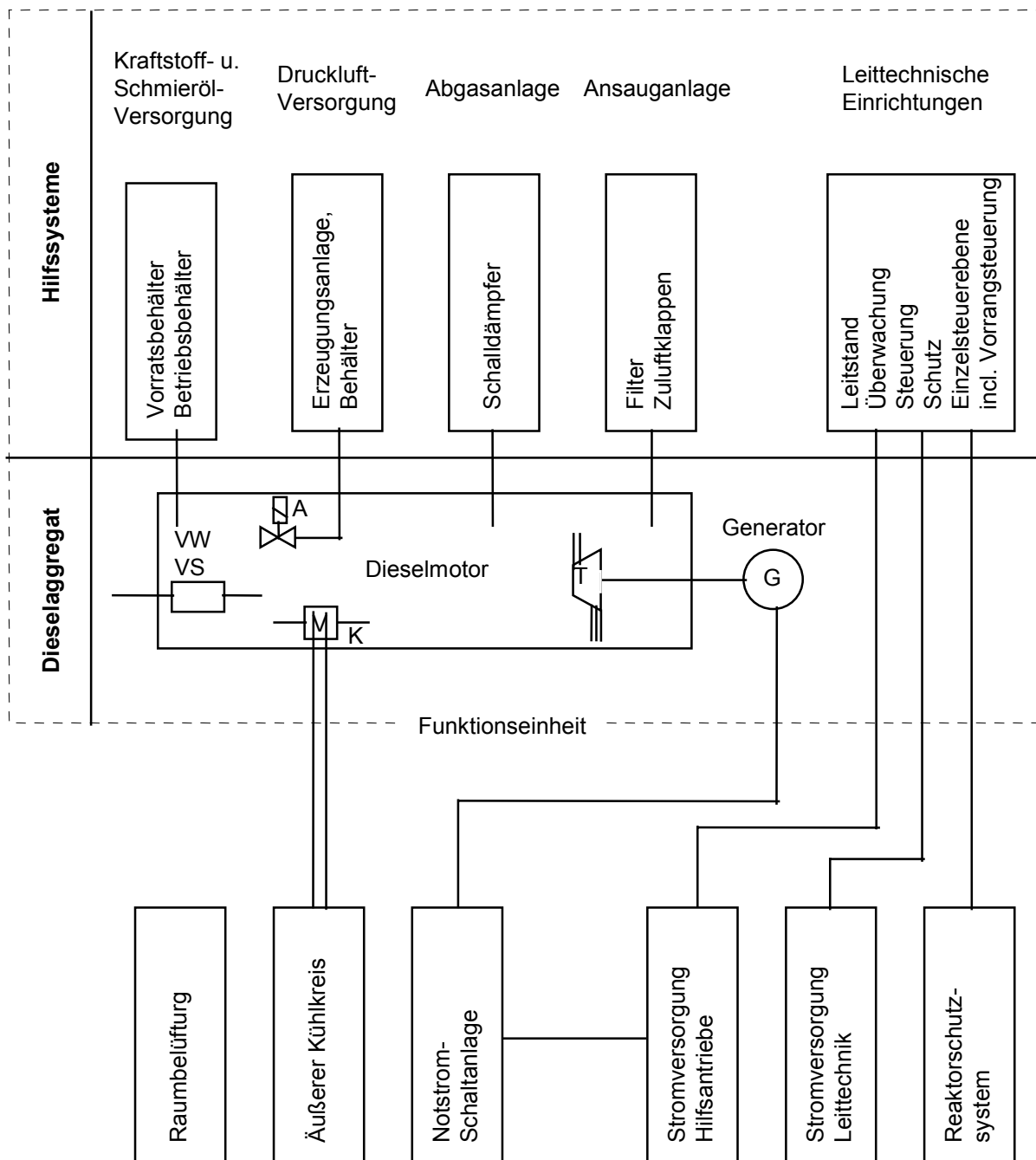
Komponenten	Eingeschlossen	Ausgeschlossen
1. Notstromdiesel	• Notstromdiesel • Generator • Anlassersystem • Schmierölsystem • dieselinternes Kühlwassersystem • Kraftstoffsysteem (bis Tagesbehälter) • dieselinternes Zuluft-, Abgassystem • Überwachung, örtl. Leitstand – Drehzahl – Niveau Ausgleichsbehälter – Schmieröldruck usw.	• Diesel Generator Zuschaltprogramm • Transportsystem für Dieselöl • externes Kühlwassersystem • Diesel Generator Leistungsschalter, Notstrom-schiene • Dieselraumkühlung • Reaktorschutzsystem
2. Kältemaschine	• Kompressor mit Antrieb • Kondensator/Verdampfer und Kühler • Kompressor • Kompressorüberwachung für thermische Überlastung, wo anwendbar • Kompressor Steuerung • Schaltanlage einschl. – Koppelrelais – elektr. Schutzeinrichtungen • Baugruppen der Antriebssteuerung einschl. Vorrangbildung und Entkopplung • Kabel	• Kaltwasser Druck- und Saugventile • Kondensator Kühlwasserventile • Raumkühlungssystem • Kaltwasserpumpe • Systemsteuerung

Komponenten	Eingeschlossen	Ausgeschlossen
3. Motorgesteuerte Armaturen	• Ventilgehäuse und Einbauteile • Stellgetriebe einschl. Endlagerschalter, Drehmomentschalter • Schaltanlage einschl. Leistungsschalter, Koppelrelais, elektr. Schutzeinrichtungen • Elektromotor • Baugruppen der Antriebssteuerung einschl. Vorrangbildung und Entkopplung • Kabel	• Verriegelungen • Systemsteuerung und Regelungen • Funktionsgruppensteuerungsep. Stellungsgeber mit eigenen Kennzeichen, soweit sie nicht der unmittelbaren Steuerung dienen
4. Rückschlagventile, Rückschlagklappen	• Ventilgehäuse, Sitz, Kegel, Klappe • Stellungsgeber • Klappengegengewicht, wo anwendbar • Ventilprüfmechanismus	• sep. Stellungsgeber mit eigenem Kennzeichen, soweit sie nicht der unmittelbaren Steuerung dienen
5. Sicherheitsventile	• Ventilgehäuse und Einbauteile • Stellungsgeber • Vorsteuerventile, wo anwendbar (eigene Komponente)	• sep. Stellungsgeber mit eigenem Kennzeichen, soweit sie nicht der unmittelbaren Steuerung dienen

Komponenten	Eingeschlossen	Ausgeschlossen
6. Pumpen mit Motorantrieb	• Pumpengehäuse, Laufrad, Welle, Lager und Abdichtung • einschl. Armaturen zu Ölversorgung oder Entwässerung der Pumpe ¹⁾ • Pumpenmotor • Pumpe-Motor-Kupplung • Pumpenmotorkühler (wenn vorhanden) • Sicherheitsventile für Kolbenpumpen • Schaltanlage einschl. – Leistungsschalter (mit Koppelrelais) – und elektrischer Schutzeinrichtung • Baugruppen der Antriebssteuerung einschl. Vorrangbildung und Entkopplung • Kabel ¹⁾ ausgeschlossen, wenn im Fehlerbaum getrennt modelliert	• Pumpen Druck- und Saugventil • Mindestmengenventil • Raumkühlungssysteme • Verriegelungen • Systemsteuerung und Regelungen • Komponentenschutz
7. Pumpen mit Turbinenantrieb	• Pumpengehäuse, Laufrad, Welle, Lager und Abdichtung, einschl. Armaturen zur Ölversorgung oder Entsorgung der Pumpe • Turbine • Kupplung • Ölpumpen, wo anwendbar ¹⁾ • Ölpumpen Kontrollschaltung ¹⁾ • Turbinen Schnellschluss / Regelventil ¹⁾ • Turbinen Regler ¹⁾ ¹⁾ ausgeschlossen, wenn im Fehlerbaum getrennt modelliert	• Pumpen Druck- und Saugventile • Mindestmengenventil • Pumpen Kühlwasserversorgung • Raumkühlungssysteme • Systemsteuerung und Regelungen

Komponenten	Eingeschlossen	Ausgeschlossen
8. Ventilatoren für Heizung, Lüftung und Klimaanlage	• Ventilatorgehäuse, Laufrad, Welle und Lager • Ventilatormotor (Antrieb) • Kupplung/Riementrieb • Schaltanlage einschl. – Koppelrelais – elektr. Schutzeinrichtungen • Baugruppen der Antriebssteuerung einschl. Vorrangbildung und Entkopplung • Kabel	• Ventilator Zuluft- und Abluftklappen • Ventilator Steuerung • Verriegelungen • Systemsteuerung • Meldeeinrichtungen
9. Gleichrichter	• Thyristorsteuersatz einschl. Glättungseinrichtungen • Spannungsregelung • Strombegrenzung • Überwachungseinrichtungen, gleichstrom- und wechselstromseitig • Batteriekreisüberwachung	• Schaltanlagen auf die Sammelschiene
10. statische oder rotierende Umformer	• Umformerkomponenten einschl. – Regeleinrichtungen – Überwachungseinrichtungen	• Schaltanlagen auf die Sammelschiene • Umschaltautomatik

Komponenten	Eingeschlossen	Ausgeschlossen
11. Differenzdruckmessung	• Mehrventilblock • Differenzdruckmessumformer • Analogverteiler-Baugruppen einschließlich Stromversorgung und Absicherung • Entkoppel- und Trennbaugruppen • Signalumformer-Baugruppen • Grenzwertgeber-Baugruppen • Messwertanzeiger	• Messwertverarbeitung für – Rechner – Meldeanlagen – Reaktorschutzsystem – Aggregatschutz
12. Temperaturmessung	• Schutzrohr • Messwertgeber • Messumformer • Analogverteiler-Baugruppe einschließlich Stromversorgung und Absicherung • Entkoppel- und Trennbaugruppen • Grenzwertgeber-Baugruppen • Signalumformer-Baugruppen • Messwertanzeiger	• Messwertverarbeitung für – Rechner – Meldeanlagen – Reaktorschutzsystem – Aggregatschutz



- A Hauptanlaßventil
- K Kühler für Wasser, Ladeluft, Öl
- VW Vorwärmer
- VS Vorschmierung

Bild 2-2: Grenzen der Funktionseinheit Dieselanlage und der zugehörigen Hilfssysteme

2.1.1.2 Abgrenzung der Betrachtungseinheiten

Um auftretende Schäden den Betrachtungseinheiten eindeutig zuordnen zu können, müssen deren Grenzen angegeben werden. Die Grenzen der Betrachtungseinheit ergeben sich beim Betriebsmittel aus dem konstruktiven Aufbau. Bei allen anderen Betrachtungseinheiten müssen sie im Einzelnen angegeben werden. Es gelten die folgenden Richtlinien für die Festlegung der Grenzen:

- Betriebsmittel
Die Anschlüsse oder Verbindungen zum angrenzenden Betriebsmittel gehören zu dem den Einbau verursachenden Betriebsmittel (Verursacherprinzip).
Beispiel: Ist eine Armatur in eine Rohrleitung eingeschweißt oder an sie angeflanscht, so zählen die Schweißnaht, die Dichtung und die Schrauben zum Betriebsmittel Armatur. Der Gegenflansch an der Rohrleitung zählt zum Betriebsmittel Rohr. Die Anschlüsse eines Kabels an einen Verbraucher gehören zu diesem. Kabel, Leistungsschalter und Elektronikbaugruppe werden gesondert als Betriebsmittel erfasst. Schäden an ihnen werden bei der Ermittlung von Ausfallraten den Komponenten zugezählt, wenn sie die Komponentenfunktion beeinträchtigen. Bei Steuerungen zählen die Verdrahtung und sonstige Hilfseinrichtungen nicht zum Betriebsmittel. Sie werden vielmehr durch die Zuordnung zur Komponente, zum Teilstrang oder zum System erfasst.
- Komponente
Die Grenzen einer Komponente ergeben sich aus den Grenzen ihrer Betriebsmittel, wobei zu beachten ist, dass Fundament, Unterstützung oder Befestigung zur Komponente gehören. Zur Komponente sind auch die Betätigungs- und/oder Vorrangbausteine und der Abzweig in der Stromversorgung mit dem Leistungsschalter hinzuzurechnen. Die Grenze des Abzweiges ist der Anschluss an die Sammelschiene. Zur Steuerung gehören der Steuerbaustein auf dem Wartenpult, der Betätigungsbaustein und eventuell vorhandene Vorrangbausteine. Die Grenze innerhalb der Steuerung ist da zu ziehen, wo der benachbarte Baustein auf mehrere Komponenten wirkt. Aus der Komponente sind solche Betriebsmittel auszugrenzen, die funktionell redundant sind oder für die abweichende Ausfallerkennungszeiten gelten. Übergeordnete Funktionsgruppen und Verriegelungen zählen zum Teilsystem, zum System oder zur Anlage.
- Funktionseinheit
Die Grenzen der Funktionseinheit ergeben sich aus den Abgrenzungen ihrer Komponenten.
- Teilstrang, Teilsystem
Teilstrang oder Teilsystem beginnen an der jeweiligen Übernahmestelle des Mediums oder im Verzweigungspunkt und enden an der Übergabestelle bzw. der Zusammenführung im System. Sie umfassen die zugehörige Steuerung, Überwachung, Messung, Regelung, Schutz und den Anteil an der Energieversorgung.

2.1.2 Ereignisbezogene Definitionen

Im Folgenden sind Begriffe aufgeführt und erläutert, die bei der Beurteilung der Ereignisse verwendet werden:

- Störereignis
Ereignis, bei dem ein vom Herstellungs- und Auslegungszustand abweichender Zustand eines Betriebsmittels, Komponente usw. eintritt und bei dem i.a. zur Wiederherstellung des Sollzustandes eine Instandsetzung notwendig ist. Ein Störereignis kann zu einer sofortigen

oder später eintretenden (Langzeitausfall) Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der betreffenden Betrachtungseinheit führen.

- **Ausfall**
Ein Ausfall ist ein Ereignis, auf Grund dessen eine Betrachtungseinheit eine oder mehrere Funktionen nicht mehr innerhalb der spezifizierten Auslegungsanforderungen wahrnehmen kann. Ein Ausfall kann graduell sein (z.B. Kenndatendrift größer als die spezifizierte Toleranz), kann eine einzelne Funktion betreffen (z.B. eine Armatur regelt nicht, öffnet und/oder schließt nicht) oder kann total sein, d.h. alle Funktionen betreffen.
- **Langzeitausfall**
Beeinträchtigung einer Betrachtungseinheit, bei der die vorgesehene Funktion im Moment zwar noch erfüllt ist, bei weiterem Betrieb jedoch ein Ausfall zu erwarten ist, wenn keine Instandsetzung durchgeführt wird.
- **Ausfallart**
Die Ausfallart gibt an, welche Funktionen einer Betrachtungseinheit beeinträchtigt oder ausgefallen sind.
- **Ausfallwirkung**
Umfang der Störung (betrifft ein oder mehrere Betriebsmittel/Komponenten/Systeme einer Anlage) und seine Auswirkung auf die Betrachtungseinheit bei Störungseintritt.
- **Hauptfunktion**
Die Hauptfunktion eines Betriebsmittels ist z.B. das Fördern, Absperren, Regeln, Messen etc..
- **Hilfsfunktion**
Unter der Hilfsfunktion ist z.B. die Komponentenüberwachung zu verstehen, die keinen Einfluss auf die Hauptfunktion hat (z.B. Stellungsüberwachung).
- **Instandhaltung**
Summe aller Maßnahmen zur Bewahrung und/oder Wiederherstellung des Sollzustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes der einzelnen Betriebsmittel und Komponenten sowie der Gesamtanlage.

Man unterscheidet dabei zwischen

- vorbeugender Instandhaltung wie Schmierung, Wartung, Überwachung, Inspektion, Überholung und
- störungsbedingter Instandsetzung (Reparatur) oder Austausch, also der Wiederherstellung des Sollzustandes nach einem Schaden.

Je nach Art der Maßnahmen ist für die Durchführung eine Freischaltung der Komponente oder des Teilsystems erforderlich oder die Anlage muss abgeschaltet werden. Soweit der Schaden unmittelbar einen Ausfall mit spezifischer Ausfallart entsprechend einem Basisereignis der PSA darstellt, tritt die Nichtverfügbarkeit der zugeordneten Funktion mit dem Schadenseintritt ein. Bei Schäden anderer Art, z.B. bei Tropfleckagen, Ausfall von Überwachungsfunktionen, Lagergeräuschen, tritt die Nichtverfügbarkeit erst mit der Freischaltung der Komponente ein (vorbeugende Instandsetzung).

- **Betrieb**
Zustand einer Betrachtungseinheit, in dem sie ihre auslegungsgemäße Funktion ausübt.
- **Bereitschaft (Stand-By)**
Stillstand einer Betrachtungseinheit, aus dem heraus sie jederzeit auf Anforderung ihren Betrieb aufnehmen kann.

- Nichtverfügbarkeit
Zustand einer Betrachtungseinheit, in dem sie als Folge eines Ausfalls oder auf Grund von schaltungstechnischen oder administrativen Maßnahmen ihre Funktion nicht erfüllen kann.

2.1.3 Definition von Bezugszeiten und Schaltspielen

Bei der Ermittlung von Ausfallraten können die folgenden Arten von Bezugszeiten zugrundegelegt werden:

- Kalenderzeit (TK)
Zeit, während der eine Betrachtungseinheit in Betrieb ist.
- Komponentenbetriebszeit (TB)
Zeit, während der eine Betrachtungseinheit betriebsbereit ist, jedoch aus betrieblichen Gründen nicht in Betrieb gesetzt wurde.
- Anlagensbetriebszeit (TBA)
Zeit, während der Hauptgenerator Strom erzeugt.

Für die Ermittlung von Nichtverfügbarkeit bei Anforderung benötigt man:

- Schaltspiel
Wechsel eines Funktionszustandes, z.B. Übergang vom Stillstand zum Betrieb, Öffnungs- oder Schließvorgang eines Schalters.
- Betätigungsvorgang, Anforderung
Maßnahme zur Änderung des Betriebszustandes der Betrachtungseinheit, z.B. Pumpe "Ein" entspricht einer Anforderung an die Betrachtungseinheit.

2.1.4 Statistische Definitionen

Das Ausfallverhalten von Betriebsmitteln oder Komponenten wird durch einen der beiden folgenden Parameter beschrieben:

- Die Ausfallrate λ
Unter der Ausfallrate wird die relative Abnahme des Bestandes an noch nicht ausgefallenen Komponenten verstanden, die pro Zeiteinheit eintritt. Bezogen auf eine Komponente kann $\lambda \cdot dt$ als "lokale" Wahrscheinlichkeit dafür aufgefasst werden, dass eine Komponente, die bis zum Zeitpunkt t funktioniert hat, im nächsten Moment, also in $[t, t + dt]$, ausfällt.
- Die Nichtverfügbarkeit u
Unter der Nichtverfügbarkeit wird die Wahrscheinlichkeit verstanden, dass bei Anforderung der Komponente ein Ausfall vorliegt, die Komponente also in dem vor der Anforderung liegenden Zeitraum ausgefallen ist oder spätestens zum Anforderungszeitpunkt ausfällt.

Dabei unterstellt man im Allgemeinen, dass beide Größen zeitunabhängig sind, was durch entsprechende Beobachtungen auch weitgehend bestätigt wird /HAU 91/.

Verwendet man die Nichtverfügbarkeit, so geht man davon aus, dass die für das Versagen maßgeblichen Belastungen bei der Anforderung selbst auftreten. Häufig ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so dass vorzugsweise Ausfallraten zu verwenden sind. Sollen trotzdem Nichtverfügbarkeiten ermittelt werden, ist eine Übertragbarkeit nur bei gleichen oder geringfügig unterschiedlichen Anforderungshäufigkeiten zulässig.

Die Kenngrößen werden ermittelt durch die Beobachtung der Ausfälle der verschiedenen Kraftwerkskomponenten während einer vorgegebenen Zeitspanne. Einzelheiten werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

2.2 ERFASSUNG DER NOTWENDIGEN INFORMATIONEN

Folgende Informationen werden benötigt:

- Anlagendaten (Stammdaten)
 - technische Daten (Konstruktionsdaten) der eingesetzten Komponenten und Betriebsmittel
 - einbauortspezifische anlagentechnische Daten
- Störungs- und Schadensbeschreibungen der Ereignisse, die bei der Datenbereitstellung berücksichtigt werden
- Bezugszeiten.

Um die ingenieurtechnische Einschätzung für die statistische Auswertung der Störungs- und Ausfallereignisse in Hinblick auf die Datenermittlung zur Fehlerbaumerstellung zu ermöglichen, ist eine Erfassungstiefe bis zur Betriebsmittelebene nötig, d.h., dass die Anlagendaten (anlagentechnische Parameter und Konstruktionsdaten) sowie die Störereignisdaten bis auf diese Ebene zurückzuführen sind.

Bei der Auswertung ist es von Vorteil, wenn eine möglichst breite Datenbasis für eine Zuverlässigkeitskenngröße vorliegt. Dazu werden sogenannte Kollektive von Komponenten gebildet.

2.2.1 Anlagendaten

Die Anlagendaten enthalten Informationen zu Auslegung und zum Funktionsprinzip sowie die technischen Merkmale einer Komponente bzw. der Betriebsmittel. Sie sind Bestandteil der Dokumentationen eines jeden Kraftwerks (Stammdaten).

2.2.1.1 Kennzeichnungssystem und Erfassungstiefe

Die Zuordnung von Anlagendaten zu den im Abschnitt 2.1.1.1 festgelegten Betrachtungseinheiten setzt voraus, dass ein geeignetes Kennzeichnungssystem benutzt wird.

Für die Kennzeichnung der Systeme, der Komponenten, der Einbauorte/Plätze von leittechnischen Einrichtungen und Signalen werden in Kernkraftwerken das Anlagenkennzeichnungssystem (AKZ) oder das Kraftwerkskennzeichnungssystem (KKS) /VGB 88/ eingesetzt. Die Systeme erlauben eine eindeutige Identifizierung von Teilen in der Anlage, auf Zeichnungen und technischen Unterlagen. Eine Kennzeichnung der Betriebsmittel ist im AKZ nicht vorgesehen. Es muss aber die Möglichkeit der Identifizierung auf Betriebsmittelebene sichergestellt sein. Dazu kann beispielweise die Betriebsmittelstufe des Kraftwerkskennzeichnungssystem (KKS) dienen.

Die Informationen zu Betriebsmitteln, Komponenten und Systemen können der Anlagendokumentation entnommen werden; sie werden zusammengestellt dokumentiert. Zweckmäßigerweise ist dabei eine Auflistung entsprechend der funktionellen Zuordnung von Komponenten zu Funktionseinheiten oder Teilsystemen vorzusehen. Die für alle Betriebsmittel einer Komponente geltenden technischen Daten sind, wie nachfolgend aufgeführt, zu sammeln:

- Komponenten/Betriebsmittelbezeichnung
Die Komponentenbezeichnung soll einen Hinweis auf die Prozessfunktion geben, z.B.

"Kühlwasserpumpe". Die Betriebsmittelbezeichnungen enthalten den Hinweis auf die Bauart, z.B. "Kreispumpe".

– Betriebsmedium

Für jede Komponente ist das Prozessmedium anzugeben, mit dem die dazugehörigen Betriebsmittel beaufschlagt werden. Wenn das Medium auf Komponentenebene erfasst werden soll, sind folgende Sonderfälle zu berücksichtigen:

- Ein Betriebsmittel der Komponente wird mit mehr als einem Medium beaufschlagt, z.B. bei Wärmetauschern.
- Die Betriebsmittel der Komponente werden nicht alle mit demselben Medium beaufschlagt, z.B. bei pneumatischen Regelkreisen, deren Betriebsmittel entweder mit dem Prozess- oder einem Hilfsmedium in Berührung kommen.

Benötigt wird in der Regel die Angabe des Prozessmediums, das mit dem Betriebsmittel der Komponenten, welches auf den Prozess einwirkt, in Berührung kommt. Beispielsweise ist bei einem pneumatisch angetriebenen Dampfabsperrentil Dampf als Medium anzugeben.

– Betriebsdruck

Es wird der Betriebsdruck des Prozesses benötigt.

– Betriebstemperatur

Hierfür gelten die Ausführungen wie für Betriebsmedium/Betriebsdruck entsprechend.

– Hersteller, Herstellertyp und Ausführung

Diese Angaben dienen zur eindeutigen Identifizierung der Konstruktion eines Betriebsmittels. Unter "Ausführung" ist bei Armaturen generell die Nennweite vorzusehen. Bei allen anderen Betriebsmittelarten können beliebige Zusatzhinweise gemacht werden.

– Technische Daten

Zur Berücksichtigung weiterer für das Ausfallverhalten wichtiger konstruktiver und technischer Daten, z.B. E-Motoren "Nennleistung", Stellgetriebe "Nennmoment", Messumformer "Messbereich", sind Informationen bereitzustellen.

– Typbezeichnung des Anlagenherstellers

Die Gerätetypisierung des Anlagenherstellers, die beispielsweise aus Armaturenlisten/Messkennblättern zu entnehmen ist, kann für den Vergleich der einzelnen Betriebsmittel nützlich sein.

– Betätigungsart

Die Betätigungsart ist in erster Linie für Armaturen anzugeben, z.B. "E" für elektrisch, "P" für pneumatisch, "M" für eigenmediumgesteuert.

– Raumkennzeichen

Das Raumkennzeichen gibt Auskunft darüber, in welchem Raum sich das Betriebsmittel befindet. Mit Hilfe dieser Information lassen sich Umgebungsbedingungen zuordnen.

Weiterhin können folgende Informationen nützlich sein:

– Fabriknummer

Für Betriebsmittel, die in verschiedenen Einbauorten eingesetzt werden (z.B. Dieselmotoren, Pumpen etc.), wird empfohlen, die Fabriknummer aufzunehmen, um eine Lebenslaufverfolgung durchführen zu können.

– Einbaudatum/Ausbaudatum

Diese Angaben müssen für sicherheitstechnisch wichtige Komponenten wie Diesel, Kältemaschine und Pumpen erfolgen, um eine Lebenslaufverfolgung für die Komponenten zu ermöglichen, die an verschiedenen Einbauplätzen eingesetzt werden.

2.2.1.2 Vorgehensweise bei der Erfassung der Anlagendaten

Die im Abschnitt 2.2.1 aufgeführten Daten sind aus entsprechend gültigen Unterlagen, z.B. Armaturenlisten, Abzweigkennblättern und Messkennblättern, zusammenzustellen. Dies wird in der Tabelle 2-2 für die Komponenten "Pumpe" und "Messung" beispielhaft gezeigt. Grundsätzlich gilt, dass für jede Komponente, die ein eigenes Anlagenkennzeichen (AKZ) bzw. Kraftwerkskennzeichen (KKS) besitzt, ein Datensatz zur Verfügung stehen muss. Für gleichartige Komponenten können die Informationen zusammengefasst dargestellt werden. Da die Vergabe von Kennzeichen je nach Anlage sehr unterschiedlich durchgeführt wurde, ist auch der zu ermittelnde Datenumfang bzw. die zu berücksichtigende Komponentenabgrenzung auf die jeweilige Anlage abzustimmen.

Es kann notwendig sein, Anlagenteile zu Funktionseinheiten zusammenzufassen, obwohl eigene Anlagenkennzeichen vorhanden sind. Bei den Komponenten "Diesel" und "Kältemaschine" sollte die Abgrenzung besonders sorgfältig vorgenommen werden. Für andere Komponenten ist beispielhaft die Abgrenzung der Komponenten aus Tabelle 2-1 zu entnehmen. Insbesondere bei Messkreisen ist die Abgrenzung in Einklang mit der verwendeten Technik (Simatik, Iskamatic etc.) und den Messaufgaben vorzunehmen, wobei Abweichungen von Tabelle 2-1 durchaus notwendig sein können.

Bei der Ermittlung der Zuverlässigkeitskenngrößen für eine Anregeeinheit sind grundsätzlich zwei Wege möglich:

- die Kenngrößen können für die gesamte Anregeeinheit direkt abgeleitet werden, falls für die Anregeeinheit, die für die Analyse benötigt wird, ausreichende Betriebserfahrung vorliegt
- jeder Pfad muss separat analysiert werden, falls die Kenngrößen nicht direkt abgeleitet werden können. Dazu werden dann die Zuverlässigkeitskenngrößen für die eingesetzten Einzeleinrichtungen (Schrankbaugruppen, Stromversorgung, etc.) erfasst.

Die endgültige Festlegung des Betrachtungsumfangs, der Abgrenzung von Komponenten und der Zusammenstellung von Funktionseinheiten ist den Anforderungen der Fehlerbaumanalyse anzupassen. Dabei muss sichergestellt werden, dass auch diejenigen Komponenten erfasst werden, die außerhalb der Abgrenzung liegen, deren Ausfall aber zur Nichtverfügbarkeit der betrachteten Komponente führt. Störereignisse an passiven Komponenten wie z.B. Rohrleitungen sind ebenfalls zu erfassen. Einzelheiten dazu findet man im Kapitel 4.

2.2.1.3 Festlegung der zu betrachtenden Systeme

Grundsätzlich sind Daten zu allen Systemen zu erfassen, die zum Sicherheitssystem gehören oder darüber hinaus im Rahmen der PSA von Bedeutung sind. Bei Systemen, die sowohl betrieblich als auch sicherheitstechnisch genutzt werden, genügt es, nur die Systemfunktionen, die der Sicherheitstechnik zuzurechnen sind, zu berücksichtigen.

Zur Verbreiterung der Datenbasis ist es empfehlenswert, den Umfang der zu betrachtenden Systeme auch auf Betriebssysteme auszuweiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Komponenten beobachtet werden, die mit konstruktiv vergleichbaren Betriebsmitteln ausgerüstet sind. Außerdem sollten sie vergleichbaren Betriebsbedingungen (Einschalthäufigkeit, Betriebsdruck, -temperatur, -medium) ausgesetzt sein. Ferner muss für die einbezogenen Komponenten der Betriebssysteme eine vergleichbare Dokumentation der Datenerfassung vorliegen.

Tabelle 2-2: Beispiel Anlagenverzeichnis Kennzeichnungssystem AKZ mit BM-Stufe aus KKS

Komponente Kreislpumpe:								
AKZKO	AKZBM	HERST	HERSTTYP	ATRA	TYPNR	RAUM/ KKS LT	KOMPO./ BMNAME	A: BDRU, B: BTEMP, C: MED
TH10D001	TH10D001 -D02 TH10D001 -D01 TH10D001 -Q01 TH10D001 -M01 TH10D001 KP01 TH10D001 MK01	SIEM SIEM SIEM SIEM KSB Z-fabr. Renk	E22 B23 1RN5 453-6ZZ90-Z THR 300-830 TYP 11/500	E	-DM056601001 -DF056600901 -QI056600001 -MA056610101 KPA032502901 MKE066600101	21HA03k16 21HA03B16 20BU08 B0106 B0106 B0106	Not- u. Nachkühlpp. Vorrang-BG Antriebssteuer-BG Niedersp.-Schaltanl. DS-NS-Motor Kreislpumpe ELCO-Kupplung	A: 45.00 B: 180 C: MED
Komponente Temperaturmessung:								
AKZKO	AKZBM	HERST	HERSTTYP	ANLI TYP	TYPNR	RAUM/ KKS LT	KOMPO./ BMNAME	A: BDRU, B: BTEMP, C: MED
TH10T002	TH10T002 -B01 TH10T002 -P01 TH10T002 -U01 TH10T002 -U02 TH10T002 -V01 TH10T002 QT01	Degussa Hanau SIEM H&B SIEM H&B	D53-421W1PT M01198-P1260-Z 11331-0-5150260-612 GS 11 6FQ2 221-0 A ZA013 D4/A 32.719.558/4	M55N I211 T513 T511 E513 W122	-BT000000000 -PA056600701 -UT024000106 -US056600101 -VF024000101 QTA038000201	B0106 GA01460 20JM19 20JL B0106	GEBER PT 100 ANZ.96X24 MESSUMFORMER GRENZSIGNAL-BG ANALOGGEBER-BG SCHUTZROHR	A: 45.00 B: 180 C: 15

Tabelle 2-2: Beispiel Anlagenverzeichnis Kennzeichnungssystem KKS (Fortsetzung)

Komponente Kreiselpumpe:								
KKSKO	KKSBM	HERST	HERSTTYP	ATRA	TYPNR	RAUM/ KKSLT	KOMPO./ BMNAME	A: BDRU, B: BTEMP, C: MED
JNA10AP 001	JNA10AP001-D01 JNA10AP001-D02 JNA10AP001-D03 JNA10AP001-Q01 JNA10AP001-M01 JNA10AP001KP01 JNA10AP001MK01	SIEM SIEM SIEM SIEM SIEM KSB Z-fabr. Renk	AV21 AV12 AS11 1RN5 453-6ZZ90-Z RHR 300-830 TYP 11/500	E	-DM056600201 -DM056600401 -DF056600101 -QI056600001 -MA056610101 KPA032502901 MKE06600101	CDJ01BB043 CDV21BB120 DDA04AB003 BAA03M UJB0115 UJB0115 UJB0115	VORRANG-BG ENTKOPPEL-BG ANTRIEBSSTEUER-BG NIEDERSP.-SCHALTANL. DS-NS-MOTOR KREISELPUMPE ELCO-KUPPLUNG	A: 45.00 B: 180 C: 15
Komponente Temperaturmessung:								
KKSKO	KKSBM	HERST	HERSTTYP	ANLI TYP	TYPNR	RAUM/ KKSLT	KOMPO./ BMNAME	A: BDRU, B: BTEMP, C: MED
JNA10CT 002	JNA10CT002-B01 JNA10CT002-P01 JNA10CT002-U01 JNA10CT002-U02 JNA10CT002-V01 JNA10CT002QT01	DEGUSSA HANAU SIEM H&B SIEM H&B	D53-421W1PT M01198-P1260-Z 11331-0-5150260- 612 GS 11 6FQ2 221-0 A ZA013 D4/A 32.719.558/4	M55N I211 T513 T511 E513 W122	-BT000000000 -PA05660071 -UT024000106 -US056600101 -VF024000101 QTA038000201	UJB0121 CWL04CG00 CFA02BB032 CCA04CB123 CFA02BB041 UJB0121	GEBER PT 10 ANZ.96X24 MESSUMFORMER GRENZSIGNAL-BG ANALOGGEBER-BG SCHUTZROHR	A: 45.00 B: 180 C: 15

2.2.2 Störereignisdaten und Nichtverfügbarkeitszeiten

Die Störereignisdaten umfassen alle Informationen zu Ausfällen von Komponenten und Nichtverfügbarkeitszeiten von Teilsystemen in Folge von Instandhaltungs-Maßnahmen.

Grundsätzlich sind alle Instandhaltungsvorgänge zu berücksichtigen, die an den zu betrachtenden Systemen und Komponenten aufgetreten sind. Außerdem müssen alle Nichtverfügbarkeiten, die durch vorbeugende Instandhaltung, Wartung, Schmierung und Test an den zu beobachtenden Anlagenteilen verursacht werden, erfasst werden.

Für die Qualitäts- und Vollständigkeitskontrolle kann es erforderlich sein, Unterlagen der Instandhaltungs- und der Prüfdokumentation zusätzlich auszuwerten. Hierzu zählen auch alle Aufschreibungen, die durch das Schichtpersonal und den Technik- und Instandhaltungsbereich angefertigt werden.

Es müssen auch Funktionsausfälle erfasst werden, die keine formalisierten Instandsetzungen erfordern. Dies gilt für typische Arbeiten, die durch das Schichtpersonal erledigt werden, wie z.B. Arbeiten außerhalb der Regelarbeitszeit für das Personal der Fachbereiche, Austausch der Elektronikarten, Austausch von Sicherungen, Beseitigung von kleinen Leckagen. Nachfolgend wird ein Beispiel für Vorgänge gegeben, die unter Umständen keine formalisierte Instandsetzung auslösen:

Beim Öffnungsvorgang einer Motorarmatur kommt es zum Auslösen des Motorschutzschalters, weil das Losbrechmoment nicht ausreicht, um die fest zugefahrene Armatur zu öffnen. Nach Wiedereinlegen des Motorschutzschalters lässt sich die Armatur verfahren. Dies Ereignis ist zu registrieren, auch wenn kein Instandsetzungsauftrag ausgestellt wurde. Präzise Angaben zur Häufigkeit solcher Ereignisse, bezogen auf bestimmte Komponenten, sind nur möglich, wenn alle Fehlfunktionen, auch nur vorübergehend vorhandene, protokolliert werden.

2.2.2.1 Erfassung der Störereignisdaten

Die Grundlage der Erfassung bildet die werksinterne Instandhaltungs- und Stördokumentation.

Dabei ist jeder Instandhaltungsvorgang in der Regel eindeutig gekennzeichnet und enthält die Beschreibung des Schadens und der Instandhaltungsmaßnahmen an einer oder mehreren Komponenten. Abweichend davon kann es vorkommen, dass

- eine Stör- und Mängelmeldung (Auftrag) mehrere Instandhaltungsvorgänge auslöst

oder

- für einen Instandhaltungsvorgang mehrere Instandhaltungsaufträge ausgestellt wurden.

Um dem Rechnung zu tragen, ist für jedes Ereignis eine eindeutige Kennzeichnung vorzusehen.

Um Störereignisdaten für die PSA auswerten zu können, muss die Instandhaltungsdokumentation den folgenden Informationsgehalt aufweisen:

- Anlagenkennzeichen (mit Betriebsmittelstufe) (siehe Abschnitt 2.2.1.1)
Es ist eine eindeutige Kennzeichnung der betroffenen Komponente bzw. der Betriebsmittel vorzusehen.
- Störungsbedingte Nichtverfügbarkeitszeiten
 - Datum, Uhrzeit, Zeitpunkt, zu dem der Schaden eintrat bzw. Feststellung des Schadens,
 - Datum, Uhrzeit des Beginns der Freischaltung von Komponenten, Systemsträngen bzw. Systemen,

- Datum, Uhrzeit der Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft,
 - Zeitpunkt der Normalisierung und Übergabe an den Betrieb nach erfolgter Reparatur/Instandhaltung mit abschließendem Test.
- Art der Ausfallentdeckung
Angabe, bei welcher Gelegenheit oder durch welchen Hinweis der Schaden entdeckt wurde, z.B. bei Anlagenrundgang, bei Systemanforderung, bei WKP oder durch Ausfallselbstmeldung.
 - Ausfallarten
Unter dem Stichwort Ausfallart werden Angaben zur Auswirkung des Schadens auf einzelne Funktionen der Betrachtungseinheiten gemacht, z.B. "fördert nicht", "startet nicht", "Leckage nach außen". Es sollten Angaben zu Ausfallarten auf der Betriebsmittel- und der Komponentenebene und der Funktionseinheit erfolgen. Soweit erkennbar ist, sollten Funktionseinschränkungen vermerkt werden (z.B. Pumpe fördert nur noch ca. 20 % der Nennmenge oder Armatur schloss bei Anforderung nicht vollständig, Durchsatz war noch zu ca. 20 % vorhanden).
 - Anlagen- und Systemzustand bei Fehlerentdeckung und bei Reparatur
Es wird festgehalten, in welchem Betriebszustand sich die Anlage und das System befanden, z.B. Stillstand der Anlage, Betrieb des Nachkühlsystems oder Bereitschaft der Notstromdieselversorgung.
 - Ausfallwirkung bei Schadenseintritt
Klassifizierung der Auswirkung des Störereignisses auf den Betrieb der Anlage, z.B. Ausfall des Betriebsmittels, der Komponente, der zugehörigen Funktionseinheit oder eines Teilstranges.
 - Auswirkung der Instandhaltung
Klassifizierung der Auswirkung der Instandhaltung auf den Betrieb der Anlage, z.B. Nichtverfügbarkeit des Betriebsmittels, der Komponente oder eines Teilstranges (siehe Erfassungsmerkmale in Tabelle 2-3 "Auswirkung der Instandhaltung"). Falls eine Liste der freischaltenden und freigeschalteten Komponenten angegeben werden soll, sind in der Regel diese Informationen dem anlageninternen Freischaltwesen zu entnehmen. Es sind sowohl die verfahrenstechnischen als auch die elektrotechnischen Maßnahmen zu berücksichtigen. Aus diesen Angaben muss hervorgehen, welche Anlagenteile (AKZ/KKS) betroffen sind und mit welchen Anlagenteilen (AKZ/KKS) die Freischaltung durchgeführt wurde.
 - Freischaltung
Es ist anzugeben, ob die Instandhaltungsmaßnahme eine Freischaltung erforderte.
 - Störereignisbeschreibung
Die Störereignistexte enthalten Informationen zu Schadensart und -umfang, zu den durchzuführenden Arbeiten, zur Schadensbehebung, zur Schadensursache und ggf. Zusatzhinweise und Erläuterungen, wie z.B. Reparaturbericht des Herstellers, falls die Komponente von ihm repariert wurde.
 - Abhängige Ausfälle
Soweit aus dem Schadensbild erkennbar ist, dass es sich um einen unabhängigen Ausfall, Folgeausfall oder Ausfall aus gemeinsamer Ursache handelt, ist dies anzugeben. Eine entsprechende Verschlüsselung ist vorzunehmen. Sind bei Störungseintritt mehrere Betriebsmittel als Folge des Ausfalls eines Betriebsmittels betroffen, so handelt es sich um einen Sekundärausfall. Sind mehrere Betriebsmittel durch einen gleichartigen Ausfall ausgefallen oder in ihrer Funktion beeinträchtigt, handelt es sich um einen Ausfall aus gemeinsamer Ursache (GVA).

Um für spätere Datenanalysen und Auswertungen eindeutige Kriterien bereitzustellen, empfiehlt es sich, auch die folgenden Informationen aufzunehmen bzw. zu berücksichtigen.

- Art der Instandhaltung
Mit Hilfe dieser Information wird unterschieden zwischen schadensbedingter Instandhaltung und vorbeugender Instandhaltung bzw. Änderungen und Neubau.
- Instandhaltungsumfang
Angabe zum Umfang der Instandhaltung, z.B. Reparatur ohne Demontage bei Betrieb oder Stillstand, Demontage, Betriebsmittelwechsel. Daraus lassen sich u.a. auch Rückschlüsse auf den Schadensumfang ziehen. Außerdem sind dadurch Überprüfungen zu den Angaben Freischaltumfang, Freischaltung möglich.

In Ergänzung zur Instandhaltungsdokumentation kann es im Einzelfall nötig sein, auf weitere Informationsquellen zurückzugreifen, wie z.B.:

- Dokumentation der wiederkehrenden Prüfungen (Befunde);
- Einträge in die Dokumentationen der Bereiche Betrieb und Technik wie z.B. :
 - Freischaltbücher bzw. Protokolle aus Freischaltrechnersystemen,
 - Arbeitserlaubnisbücher,
 - E- und Leittechnikjournale,
 - Reaktorschutzbücher,
 - Lebenslaufakten,
 - Reparaturberichte (auch vom Hersteller),
 - Bauelementerfassung für elektronische Bauteile,
 - Sicherungsbücher.

Welche der oben beispielhaft aufgeführten Unterlagen zu berücksichtigen sind, ist anlagenspezifisch festzulegen.

Die Verschlüsselung der einzelnen Störereignisse ist ein wesentlicher Bestandteil der Datenermittlung. Sie dient Qualitätssicherung, Analyse und Auswertung der Meldung. Es empfiehlt sich, den Informationsgehalt der Schlüssel z.T. redundant aufzubauen, um bei späterer Überprüfung Fehler in der Verschlüsselung von Störereignissen besser erkennen zu können. Für die Bereitstellung der Datenbasis für die PSA sollte es mit geringem Aufwand möglich sein, aus dem vorhandenen Datenpool eine Auswahl der zu betrachtenden Ereignisse herauszufiltern, um dann eine detaillierte Analyse mit Hilfe der vorhandenen Texte durchführen zu können. Für diese Vorselektion sind die empfohlenen Erfassungsmerkmale geeignet.

Insbesondere, um die Auswertung mit Hilfe der Datenverarbeitung durchführen zu können, empfiehlt es sich, die wichtigsten Informationen in verschlüsselter Form bereitzustellen:

- Art der Ausfallentdeckung,
- Ausfallwirkung bei Schadenseintritt,
- Ausfallarten,
- Anlagen- und Systemzustand bei Ausfallentdeckung und bei Reparatur,
- Auswirkung der Instandhaltung,
- Freischaltung,
- Folgeausfall.

In Tabelle 2-3 und Tabelle 2-4 sind Erfassungsmerkmale angegeben.

2.2.2.2 Erfassung nicht störungsbedingter Nichtverfügbarkeitszeiten

Neben den Nichtverfügbarkeitszeiten infolge störungsbedingter Instandsetzungen werden

- die Nichtverfügbarkeitszeiten von Teilsträngen auf Grund von Instandhaltung (berücksichtigt werden dabei alle Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (auch Tests), die an den zu betrachtenden Systemen durchgeführt werden und bei denen während der Arbeiten der betreffende Teilstrang nicht verfügbar war) und
- sonstige Nichtverfügbarkeitszeiten an den zu betrachtenden Systemen auf Grund von Freischaltungen an anderen Systemen

benötigt.

Einige Instandhaltungsmaßnahmen führen zu Nichtverfügbarkeiten von mehreren Teilfunktionen (z.B. Nichtverfügbarkeit der Niederdruckeinspeisung und der Nachkühlung). Solche Zeiten werden bei beiden Teilfunktionen berücksichtigt. Zur Bestimmung der Nichtverfügbarkeitszeiten sind folgende Angaben erforderlich:

- eindeutige Kennzeichnung des Instandhaltungsvorgangs,
- Anlagenkennzeichen,
- Datum, Uhrzeit Freischaltanfang,
- Datum, Uhrzeit Freischaltende bzw. Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft und Übergabe an den Betrieb,
- Anlagen- und Systemzustand bei Instandhaltung,
- Auswirkung der Instandhaltung,
- Beschreibung der Instandhaltungsmaßnahme.

Für diese Information gelten die Ausführungen des Abschnittes 2.2.2.1 entsprechend; als Erfassungsmerkmale eignen sich die in der Tabelle 2-3 aufgeführten Merkmale.

2.2.2.3 Bezugszeiten und Anforderungshäufigkeiten

Zur Berechnung der Ausfallraten werden die Kalenderzeit und die Betriebszeiten der Anlage benötigt. Für die Komponenten, für die im Rahmen der PSA eine Ausfallrate für Betriebsversagen ermittelt werden soll, ist die Betriebszeit der Komponenten bereitzustellen (z.B. Pumpen, Diesel, Kältemaschinen, Ventilatoren). Zur Bestimmung der Betriebsstunden und Schaltspielhäufigkeiten von Komponenten eignen sich in der Regel die Daten aus der Prozessrechneranlage.

Für ausgewählte Komponenten sind Schaltspielhäufigkeiten festzuhalten, wenn im Rahmen der PSA Nichtverfügbarkeiten berechnet werden sollen (z.B. Druckhalter und Dampferzeugersicherheitsventile, Sicherheits- und Entlastungsventile, Armaturen des Sicherheitseinschlusses, Hochdruck- und Niederdruckpumpen des Not- und Nachkühlsystems, (Not-)Zwischenkühlpumpen, (Not-) Nebenkühlwasserpumpen, Notstrom- und Notspeisediesel, Kältemaschinen).

Wenn Komponenten durch grundlegend geänderte Komponenten ersetzt werden, bei denen in der Vergangenheit aufgetretene Ausfälle nicht mehr möglich sind, kann es sinnvoll sein, für die Datenauswertung nur die Betriebszeiten der geänderten Komponenten zu berücksichtigen. Die hierbei vorgenommenen ingenieurtechnischen Überlegungen sind zu dokumentieren.

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale

Art der Ausfallentdeckung	
	Technische Überlegung
	Begehung
	Wartung
	Prüfung
	Wiederkehrende Prüfung
	sonstiger Funktionstest
	Instandhaltung
	Systemanforderung
	System in Betrieb

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Ausfallwirkung bei Schadenseintritt	
	kein Einfluss auf Betriebsmittel
	Langzeitausfall des Betriebsmittels
	Ausfall Betriebsmittel
	Ausfall Komponente oder Messung, bzw. Regelung
	Ausfall von Funktionseinheiten
	Ausfall eines Teilstranges (betrieblich)
	Ausfall eines Teilstranges auch bei Anforderung aus dem Reaktorschutz
	Ausfall eines Gesamtstranges (betrieblich)
	Ausfall eines Gesamtstranges auch bei Anforderung aus dem Reaktorschutz
	Ausfall der Systemfunktion
	Ausfall mehrerer Systemfunktionen
	Lasteinschränkung
	Ausfall Stromerzeugung TUSA
	Ausfall Wärmeerzeugung RESA

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Ausfallart	
	Ausfälle aktiver Funktionen Öffnet nicht (hebt nicht) Schließt nicht (senkt nicht) Öffnet nicht und schließt nicht (hebt nicht und senkt nicht) Startet nicht Bleibt stehen Schaltet nicht um Öffnet, schließt oder startet ohne Anforderung Fördert nicht Bleibt nicht stehen Regelt nicht Erreicht nicht die volle Leistung Überträgt keine Leistung Ausfälle von Hilfseinrichtungen <u>ohne</u> Beeinträchtigung der Hauptfunktion

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Ausfallart (Betriebsmittel/Komponente)	
	Ausfälle elektrischer und leittechnischer Funktionen (Es ist zwischen aktiven und passiven Ausfällen zu unterscheiden) Ausfall mit Ausgangsspannung oder Anzeige Null, Spannungszusammenbruch Ausfall mit voller Ausgangsspannung oder Vollausschlag Ausfall mit beliebiger Ausgangsspannung oder Anzeige Schwingen, Instabilität, Aussetzer Kenndatendrift Ausfälle von Hilfseinrichtungen ohne Beeinträchtigung der Hauptfunktion (Rückmeldungen, Überwachungen) Ausfälle mechanischer passiver Funktionen Leckage nach außen Leckage nach außen über Gehäuse bzw. Wandungsbrüche oder Risse Leckage innen über Sitze Leckage des Hilfsmediums Verstopfung Verlust der Tragfunktion Scheidet nicht ab

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Anlagenzustand, Systemzustand	
	Stillstand kalt (außer Revision) Heiß Stand by (unterkritisch heiß) Nulllast 0 - 5 % Revision Stand by (z.B. für TH-, EY-System) Teillast 5 - 80 % (bei System Teilstrang in Betrieb) Volllast 80 - 100 % Anfahren Abfahren

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Auswirkung der Instandhaltung	
	kein Einfluss auf Nichtverfügbarkeit
	Nichtverfügbarkeit Betriebsmittel
	Nichtverfügbarkeit Aggregat oder Messung, bzw. Regelung
	Nichtverfügbarkeit von Funktionseinheiten
	Nichtverfügbarkeit eines Teilstranges auch bei Anforderung aus dem Reaktorschutz
	Nichtverfügbarkeit eines Gesamtstranges (betriebl.)
	Nichtverfügbarkeit eines Gesamtstranges auch bei Anforderung aus dem Reaktorschutz
	Nichtverfügbarkeit der Systemfunktion
	Nichtverfügbarkeit mehrerer Systemfunktionen
	Lasteinschränkung
	Nichtverfügbarkeit der Stromerzeugung
	Nichtverfügbarkeit der Wärmeerzeugung

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Freischaltung	
	Freischaltung erforderlich ja Freischaltung erforderlich nein

Tabelle 2-3: Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Abhängigkeit der Ausfälle	
	Unabhängiger Ausfall Abhängige Ausfälle (Sekundärausfälle, kommandierte Ausfälle und gemeinsam verursachte Ausfälle, vergl. Abschnitt 3.3 in /MET 05/) Vergleichbare Schäden an weiteren Komponenten (auch, wenn ein Ausfall noch nicht eingetreten ist)

Tabelle 2-4: Zusätzliche Erfassungsmerkmale

Art der Instandhaltung	
	Schmierung
	Wartung
	Inspektion
	vorbeugende Instandsetzung
	störungsbedingte Instandsetzung
	Um- und Neubauarbeiten
	Bedienung und Kontrolle
	Sauberhaltung
	Sonstiges
	Freischaltung
	Test

Tabelle 2-4: Zusätzliche Erfassungsmerkmale (Fortsetzung)

Instandhaltungsumfang (bezogen auf Betriebsmittel)	
	Reparatur bei Betrieb
	Reparatur ohne Demontage
	Teildemontage
	Demontage
	Betriebsmittelwechsel
	geänderte oder umgebaute Einrichtung
	Reparatur im Herstellerwerk ohne Betriebsmittelwechsel
	Einstellen, Kalibrieren, Nacheichen
	keine Reparatur durchgeführt
	Ein-, Um-, Ausbau zu Prüf- oder Versuchs- oder sonstigen Zwecken

2.3 AUSLÖSENDE EREIGNISSE

Störungen und Schäden an Komponenten und Anlagenteilen, die eine Anforderung von Sicherheitssystemen auslösen, werden als „auslösende Ereignisse“ bezeichnet.

Auslösende Ereignisse sind in den Listen mit den Referenzereignissen für die Anlagentypen DWR und SWR in /MET 05/ zusammengefasst.

Auslösende Ereignisse werden abhängig von der Methode der Erfassung in drei Gruppen unterteilt:

- Auslösende Ereignisse, deren Häufigkeit auf Grund der anlagenspezifischen Betriebserfahrung ermittelt werden kann,
- Auslösende Ereignisse, für die zusätzlich die Betriebserfahrung aus anderen Kernkraftwerken bei der Ermittlung der Häufigkeit berücksichtigt werden muss,
- Lecks innerhalb und außerhalb des Sicherheitsbehälters (inkl. Frischdampf-, Speisewasserlecks) sowie Lecks in Kühlwassersystemen (siehe Kapitel 4).

2.3.1 Erfassung der anlagenspezifischen Ereignisse

Als Informationsquellen zur Erfassung der anlagenspezifischen Ereignisse, die zu einem auslösenden Ereignis führen, können z.B.

- Jahresberichte,
- Monatsberichte und
- Störungsberichte

dienen. Eingeschlossen werden in diese Erfassung Ereignisse durch fehlerhafte Personalhandlungen bei der normalen Bedienung oder beim Test von Komponenten und Systemen, die einen Störfall einleiten. Beispielhaft hierzu sei eine durch fehlerhaft durchgeführte Testprozeduren ausgelöste Reaktorschnellabschaltung genannt.

Für die Auswertung der auslösenden Ereignisse werden die folgenden Informationen benötigt:

- Einordnung des Ereignisses,
- Zeitpunkt des Störungseintritts,
- Störungsablauf mit den bestimmenden Zeitangaben,
- Lastwechsel während der Störung,
- Störungsursache.

Die Verteilungsbildung erfolgt gemäß der Vorgehensweise für die Fälle 1 - 4 (vgl. Abschnitt 3.3.1).

2.4 TESTINTERVALLE

Die Herleitung der in der PSA modellierten Testintervalle ist unter Angabe der betreffenden Prüfanweisungsnummer oder unter Darlegung ingenieurtechnischer Überlegungen (z.B. bei Anforderung von Komponenten durch regelmäßig wiederkehrende betriebliche Fahrweisen) zu dokumentieren. Die Intervalle und Strategien von wiederkehrenden Prüfungen sind der Anlagendokumentation zu entnehmen. Für jede Prüfung ist zu analysieren, ob die Prüfung an-

forderungsgerecht durchgeführt wird. Wenn durch die Prüfungen nur ein Teil der möglichen Ausfälle auf Grund der systemtechnischen Gegebenheiten entdeckt werden können, ist dies ingenieurtechnisch zu bewerten und für die zu ermittelnden Ausfallraten und -wahrscheinlichkeiten zu berücksichtigen.

Beispiel: Bei einer Prüfung wird ein Absperrschieber ohne Differenzdruck gefahren (im Anforderungsfall mit Differenzdruck). Für Ansteuerung, Schalter in der Schaltanlage, Motor und Stellgetriebe sowie für die Kabelwege ist die Prüfung als repräsentativ zu betrachten. Für den Absperrschieber, die eingestellten Drehmomentschalter, bzw. Wegendschalter entspricht die Prüfung nicht den tatsächlichen Betriebsbedingungen.

2.5 ERFOLGSWAHRSCHEINLICHKEITEN VON REPARATURMASSNAHMEN

Es wird im Folgenden auf die Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeiten von Reparaturmaßnahmen an Komponenten eingegangen, die bei Eintritt des auslösenden Ereignisses nicht verfügbar sind oder im weiteren Ablauf ausfallen. Die Kriterien für die Auswahl der in der PSA zu berücksichtigenden Reparaturmaßnahmen und das methodische Vorgehen ihrer Identifizierung sowie die Datenermittlung sind im Anhang E "Personalhandlungen" des "Methodenbandes" /MET 05/ dargestellt.

Zunächst werden die erforderlichen Zeiten - soweit wie möglich aus der Betriebserfahrung - für die Reparaturmaßnahmen ermittelt. Unter Berücksichtigung des auf Grund der Prozessdynamik vorgegebenen Zeitfensters können dann Wahrscheinlichkeiten für den Erfolg von Reparaturmaßnahmen abgeschätzt werden.

Für die Ermittlung der Reparaturzeiten kann eine Separierung der Komponente in verschiedene Betriebsmittel (z.B. leit-, elektro-, maschinentechnische) vorgenommen werden. Dazu sind:

- Anteile der Betriebsmittel, die zum Ausfall der Komponente geführt haben sowie Vorgehen bei der Abschätzung dieser Anteile und
- Reparaturzeiten für die einzelnen Betriebsmittel

zu ermitteln.

Aus diesen Werten ist dann die Verteilung der Reparaturzeiten der Komponente zu ermitteln.

2.6 LITERATUR

/BUR 96/ W. Burchhardt et al.:

ZEDB Zentrale Zuverlässigkeits- und Ereignisdatenbank - Ziele und Stand, Jahrestagung Kerntechnik '96, Seite 517

/HAU 91/ U. Hauptmanns et al.:

Überprüfung von Modellen zur Zuverlässigkeitsbewertung von Sicherheitseinrichtungen anhand von Betriebserfahrungen - Abschlussbericht, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-1813, Köln, Juli 1991

- /HÖR 80/ P. Hömke et al.:
Zuverlässigkeitskenngrößenermittlung im Kernkraftwerk Biblis B,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-532/ I-VI, Köln,
Dezember 1980
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05
- /PRO 95/ H. Procaccia et al.:
EIREDA European Industry Reliability Data Bank,
ESReDA Series on Statistics No. 1, Volume 2b, Second Edition 1995
- /VGB 88/ KKS Kraftwerk-Kennzeichensystem
VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen 1988

3 AUSWERTUNG ANLAGENSPEZIFISCHER AUSFALLEREIGNISSE

3.1 ALLGEMEINES

Kollektivbildung:

Ausfallraten bzw. Nichtverfügbarkeiten werden für Komponenten gleicher Art/Betriebsbedingungen benötigt. Das bedeutet beispielsweise im Falle von Pumpen, dass getrennte Kenngrößen für HD- und ND-Pumpen im Notkühlsystem, Notspeisepumpe, Zwischenkühlpumpe etc. zu ermitteln sind. Um eine möglichst sichere Aussage über das Ausfallverhalten eines Komponententyps zu machen, ist es häufig notwendig, eine Reihe gleicher Komponenten zusammenzufassen (Kollektivbildung). Dabei ist darauf zu achten, dass nur solche Komponenten zusammengefasst werden, die zu derselben Komponentenart oder Betriebsmittelart z.B. Kreiselpumpe gehören, ähnlichen Betriebsbedingungen (z.B. Druck, Förderleistung, Medium, ungefähr gleichen Betriebsstunden bzw. Einschalthäufigkeiten) unterliegen und gleichartige wesentliche technische Auslegungsmerkmale aufweisen. Ein Beispiel wäre das Zusammenfassen aller Absperrventile ähnlicher Nennweite aus dem konventionellen und nuklearen Zwischenkühlsystem in einem Kraftwerk.

Betrachtungseinheiten:

Grundsätzlich wird die Ermittlung der Kenngrößen für Komponenten (vgl. Abschnitt 2.1.1) durchgeführt. Eine Ausnahme davon bildet das Reaktorschutzsystem, das auf Betriebsmittelebene, d.h. kartentypspezifisch bearbeitet werden sollte. Bei der Durchführung von Auswertungen sind die vorher gemachten Abgrenzungen und möglicherweise gebildeten Funktionseinheiten (vgl. Abschnitt 2.1.1) zu berücksichtigen.

Ausfallmerkmale:

In der Regel werden Ausfallraten/Nichtverfügbarkeiten für bestimmte Ausfallarten benötigt, z.B. "startet nicht", "bleibt stehen", "öffnet nicht", "schließt nicht".

Aus der Darstellung der Ergebnisse sollten

- die Komponentengruppen, die zu einem Kollektiv zusammengefasst wurden,
- die Ausfallarten,
- die Betriebsstunden bzw. Anforderungshäufigkeiten,
- die Ausfälle und
- die Verteilungsparameter

hervorgehen.

Bei der Ermittlung von Ausfallraten und Nichtverfügbarkeiten gibt es grundsätzlich mehrere Wege, z.B.

- den frequentistischen und
- den Bayes'schen.

Der frequentistischen Auswertung liegt die Auffassung zugrunde, dass Zuverlässigkeitskenngrößen feste unbekannte Werte sind, die auf Grund von Stichproben geschätzt werden. Die ermittelten Vertrauensintervalle sind dabei ein Maß für die Qualität der Schätzung.

Demgegenüber ist die Grundlage der Bayes'schen Vorgehensweise die Annahme, dass die Zuverlässigkeitskenngrößen Zufallsvariable sind.

Nachfolgend werden beide Methoden der Auswertung kurz beschrieben.

3.2 FREQUENTISTISCHE AUSWERTUNG

3.2.1 Ausfallraten

Unter den Bedingungen, dass

- alle zu einer Gruppe zusammengefassten Komponenten (s.o.) dasselbe Ausfallverhalten aufweisen,
- die Komponenten unmittelbar nach ihrem Ausfall repariert oder durch eine gleichartige Komponente ersetzt werden,
- die Ausfallraten der betrachteten Komponenten während des Beobachtungszeitraums konstant sind,

wird die Anzahl der Ausfälle durch einen Poissonprozess /HÄR 83/ beschrieben.

Die Einhaltung der oben genannten Bedingungen ist ingenieurmäßig und statistisch zu überprüfen.

Dabei liegt es auf der Hand, dass die Voraussetzungen des Poissonprozesses in der Praxis nur annähernd erfüllt sind. Beispielsweise ist die Bedingung sofortiger Reparatur oder Ersatzes einer ausgefallenen Komponente dann ausreichend erfüllt, wenn die Zeitspanne zwischen Ausfall der Komponente und Abschluss der Reparatur sehr viel kleiner als ihre mittlere erwartete Lebensdauer $\bar{L} = 1/\lambda$ ist.

Die Maximum-Likelihood-Schätzung für die Ausfallrate lautet dann:

$$\hat{\lambda} = \frac{k}{\sum_{n=1}^N T_n}$$

Gl. 3-1

$$\sum_{n=1}^N T_n = T$$

Dabei ist k die Anzahl der beobachteten Ausfälle und T_n sind die Bezugszeiten der Komponenten der Gruppe, die aus N Komponenten besteht. Für T_n ist je nach maßgeblichem Schadensmechanismus die Kalenderzeit (Beobachtungszeitdauer), die Anlagenbetriebszeit oder die Komponentenbetriebszeit zu Grunde zu legen (siehe Abschnitt 2.1.3).

Neben der Punktschätzung von λ (Gl. 3-1) lässt sich zusätzlich ein Vertrauensbereich zu einem vorgegebenen Vertrauensniveau (s.u.) angeben. Die Breite des Vertrauensbereichs ist ein Maß für die Qualität der Schätzung. Man erhält als untere Grenze:

$$\underline{\lambda} = \frac{\chi^2(2k; \frac{1-\gamma}{2})}{2 \cdot T}$$

Gl. 3-2

und als obere Grenze:

$$\bar{\lambda} = \frac{\chi^2(2(k+1); \frac{1+\gamma}{2})}{2 \cdot T}$$

Gl. 3-3

Dabei ist χ^2 die χ^2 -Verteilung /ABR 84/ und 2 k bzw. 2 (k + 1) ihr Freiheitsgrad, der von der Zahl der beobachteten Ausfälle k abhängt. Der Parameter γ charakterisiert das Vertrauensniveau.

Dabei wird üblicherweise $\gamma = 0,9$ gewählt, wodurch mit Hilfe der Beziehungen Gl. 3-2 und Gl. 3-3 die 5 % bzw. 95 % Vertrauensgrenzen ermittelt werden.

3.2.2 Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Anforderung

Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Anforderung werden analog zu den Ausfallraten ermittelt. Die hierbei zugrundeliegende Modellvorstellung ist die einer binomial-verteilten Grundgesamtheit /STA 70/. Sie trifft zu, wenn bei jeder Anforderung die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall gleich groß ist, d.h. unter anderem, dass

- die Komponente nach ihrem Ausfall vor der nächsten Anforderung instandgesetzt wird,
- die Komponente nach der Instandsetzung "so gut wie neu" ist, sie also entweder ausgetauscht oder so repariert wird, dass sie wieder ihren Neuzustand hat,
- die beobachtete Stichprobe homogen ist, d.h., die zu einer Gruppe zusammengefassten Komponenten dieselbe Nichtverfügbarkeit aufweisen.

Die Einhaltung der oben genannten Bedingungen ist ingenieurmäßig und statistisch zu überprüfen.

Die Maximum-Likelihood-Schätzung für die Nichtverfügbarkeit führt dann auf

$$\hat{u} = \frac{k}{\sum_{n=1}^N h_n} \quad \text{Gl. 3-4}$$

Dabei ist k die Anzahl der registrierten Ausfälle und h_n die Zahl der in der Gruppe registrierten Anforderungen an die Komponente n , die zu der aus N Komponenten eines Typs bestehenden Gruppe gehört.

Das Vertrauensintervall ist im Falle der Binomialverteilung nach unten durch:

$$\underline{u} = \frac{k}{k + (r - k + 1) F_{(1+\gamma)/2} [2(r - k + 1), 2k]} \quad \text{Gl. 3-5}$$

und nach oben durch:

$$\overline{u} = \frac{(k + 1) F_{(1+\gamma)/2} [2(k + 1), 2(r - k)]}{(r - k) + (k + 1) F_{(1+\gamma)/2} [2(k + 1), 2(r - k)]} \quad \text{Gl. 3-6}$$

begrenzt. Dabei sind F die F-Verteilung /ABR 84/ mit den in Klammern stehenden Freiheitsgraden, r die Gesamtzahl der Anforderungen, $r = \sum_{n=1}^N h_n$ und γ das Vertrauensniveau.

Im Grenzfall kleiner Werte von $\hat{u}$ und großer Werte von r wird die Binomialverteilung der Grundgesamtheit durch eine Poissonverteilung angenähert. In diesem Fall gelten analog zu Gl. 3-2 und Gl. 3-3 entsprechend vereinfachte Darstellungen der Fraktilwerte durch die χ^2 -Verteilung, die anstelle von Gl. 3-5 und Gl. 3-6 verwendet werden können.

3.3 BAYES'SCHE AUSWERTUNG VON ZUVERLÄSSIGKEITS-KENNGRÖSSEN

Die Bayes'schen Verfahren bieten gegenüber der frequentistischen Auswertung entscheidende Vorteile:

- Möglichkeit zur Einbeziehung von Vorinformationen aus anderen Anlagen,
- Mathematisch konsistente Quantifizierung der Unsicherheiten auch bei geringer Anzahl von Ereignissen, insbesondere bei Nullfehler-Statistiken.

Zusätzlich zu den aus dem begrenzten Umfang der Stichproben resultierenden Unsicherheiten ergeben sich weitere Gründe für Unsicherheiten:

- (1) Die Modellannahmen (z.B. Poissonprozess) treffen in der Praxis nur annähernd zu.
- (2) Die Stichprobe setzt sich in der Regel aus ähnlichen, aber nicht hinreichend ähnlichen Komponenten zusammen, die überdies ähnlichen, aber nicht hinreichend ähnlichen Betriebs- und Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind.
- (3) Die ermittelten Daten stammen aus der Vergangenheit; sie dienen aber dazu, Vorhersagen für die Zukunft zu machen. Dabei ist es denkbar, dass gewisse Veränderungen der Lebensdauer der Komponenten durch Veränderungen in den Einsatzbedingungen, z.B. Veränderungen bei der Instandhaltung, hervorgerufen werden.
- (4) Die Beobachtungen aus anderen als der zu analysierenden Anlage brauchen nicht genau auf die betrachtete Anlage zuzutreffen; mit ihrer Übertragung ist eine gewisse Unsicherheit verknüpft.

Einstufige Bayes-Verfahren erfassen nicht mehr Unsicherheiten als die frequentistische Auswertung. Lediglich die Wahl einer anderen als der Poissonverteilung (vgl. Punkt (1)) würde im Prinzip ermöglicht, wird in der Praxis aber nicht angewendet. Mit Hilfe von zweistufigen Bayes-Verfahren erhält man Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die einen Teil der genannten Unsicherheiten beschreiben. Dabei dient der Satz von Bayes im vorliegenden Zusammenhang dazu, den Kenntnisstand über die Zuverlässigkeitskenngößen der Komponenten, der vor der Beobachtung in der zu untersuchenden Anlage vorlag, mit den dort gemachten Beobachtungen zu verknüpfen. Er lautet für Ausfallraten:

$$f(\lambda | E) = \frac{L(E | \lambda) f(\lambda)}{\int_0^{\infty} L(E | \lambda') f(\lambda') d\lambda'} \quad \text{Gl. 3-7}$$

Bei Ausfall auf Anforderung gilt Analoges.

In Gl. 3-7 ist $f(\lambda)$ die (subjektive) Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, die den ursprünglichen Kenntnisstand über den zutreffenden Wert von λ ausdrückt (a-priori-Verteilungsdichte).

$L(E/\lambda)$ ist die Mutmaßlichkeitsfunktion (likelihood function), welche die Wahrscheinlichkeit dafür ausdrückt, dass die Erfahrung E (k Ausfälle in der Beobachtungszeit T) gemacht wird, unter der Bedingung, dass λ der zutreffende Wert des Parameters ist; $f(\lambda|E)$ ist die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, in der Kenntnisstand vor der Beobachtung und die Beobachtung selbst konsistent miteinander verbunden sind (a-posteriori-Verteilungsdichte).

Bei der Auswertung von Beobachtungen wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die jeweilige Lebensdauer der Komponenten exponentiell verteilt und die Ausfallrate λ mithin konstant ist. Damit erhält man als Mutmaßlichkeitsfunktion eine Poissonverteilung. Sie gibt die Wahrschein-

lichkeit dafür an, dass man k Ausfälle während der Beobachtungszeit T beobachtet unter der Bedingung, dass λ der zutreffende Parameter ist.

$$L(E | \lambda) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \quad \text{Gl. 3-8}$$

In probabilistischen Sicherheitsanalysen sollen grundsätzlich anlagenspezifische Kenngrößen verwendet werden, um die Gegebenheiten der spezifischen Anlage möglichst realistisch zu erfassen. Bei unzureichender anlagenspezifischer Datenbasis für einzelne Komponenten oder auslösende Ereignisse kann auf generische Daten zurückgegriffen werden. Bei Verwendung generischer Daten sind die Anforderungen des Abschnittes 5 zu beachten.

Im folgenden werden in Abhängigkeit des vorliegenden Umfangs der anlagenspezifischen Beobachtungen 4 Fälle unterschieden, für die unterschiedliche Verfahren zur Anwendung des Ansatzes von Bayes empfohlen werden:

Fall 1: Es liegen ausreichende oder nur anlagenspezifische Beobachtungen vor.

Fall 2, Fall 3: Die anlagenspezifischen Beobachtungen sind nicht ausreichend und es liegen Beobachtungen aus vergleichbaren Anlagen vor. Die Verfahren für Fall 2 und Fall 3 unterscheiden sich hinsichtlich der Bewertung der Vergleichbarkeit.

Fall 4: Es liegen keine anlagenspezifische Beobachtungen, aber Beobachtungen aus vergleichbaren anderen Anlagen vor.

Diese unterschiedlichen Fälle sind sowohl bei der Ermittlung von Ausfallraten bzw. Eintrittshäufigkeiten als auch bei der Ermittlung einer Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung zu beachten.

3.3.1 Ausfallraten

° Fall 1: Das einstufige Verfahren mit nicht-informativer a-priori-Verteilung

In diesem Fall wird eine nicht informative a-priori-Verteilungsdichtefunktion zugrundegelegt; sie ist proportional zu $\lambda^{-1/2}$ /MAR 81/, d.h.

$$f(\lambda) \propto \lambda^{-1/2} \quad \text{Gl. 3-9}$$

Setzt man Gl. 3-8 und $f(\lambda)$ aus Gl. 3-9 in Gl. 3-7 ein, so ergibt sich:

$$f(\lambda | E) = \frac{T^{k+1/2}}{\Gamma(k+1/2)} \lambda^{k-1/2} e^{-\lambda T}, \quad (\lambda > 0) \quad \text{Gl. 3-10}$$

wobei Γ die Gammafunktion bedeutet (vgl. z.B. /ABR 84/).

Die Integration zur Bestimmung des Erwartungswertes der als Zufallsgröße λ aufgefassten Ausfallrate lässt sich analytisch durchführen; sie führt auf

$$E[\lambda | k] = \frac{2k+1}{2T} \quad \text{Gl. 3-11}$$

Die Verteilungsfaktile lassen sich unter Nutzung der Beziehung zwischen der unvollständigen Gammafunktion und der χ^2 -Verteilung /ABR 84/ ermitteln und ergeben:

$$\underline{\lambda} = \frac{\chi^2(2k+1; (1-\gamma)/2)}{2T} \quad \text{Gl. 3-12}$$

$$\overline{\lambda} = \frac{\chi^2(2k+1; (1+\gamma)/2)}{2T} \quad \text{Gl. 3-13}$$

Dabei bezeichnet $\underline{\lambda}$ das untere Fraktile und $\overline{\lambda}$ das obere. Üblicherweise wird $\gamma = 0,9$ gewählt, so dass sich das 5 % bzw. 95 % Fraktile ergibt.

Das einstufige Bayes-Verfahren unterscheidet sich nur darin von der frequentistischen Auswertung, dass beim Erwartungswert und oberen Verteilungsfraktile $2k+1$ Ausfälle gegenüber $2k+2$ gezählt werden, beim unteren Verteilungsfraktile $2k+1$ gegenüber $2k$. Damit ist die vom einstufigen Bayesverfahren ermittelte Unsicherheitsbandbreite etwas geringer als die von der frequentistischen Auswertung ermittelte.

Im Falle von zwei oder mehr Ausfällen der Komponente in der Zielanlage führt das einstufige Bayesverfahren mit nur anlagenspezifischen Beobachtungen zu brauchbaren Ergebnissen.

° **Fall 2: Das einstufige Verfahren mit informativer a-priori-Verteilung aus Vorinformationen**

Für einen Komponententyp können die anlagenspezifischen Beobachtungen mit Beobachtungen aus anderen Anlagen verknüpft werden. Sind dabei die Komponenten in den verschiedenen Anlagen und ihre Betriebs- und Umgebungsbedingungen hinreichend ähnlich, kann wie folgt verfahren werden.

Die mathematische Verarbeitung der beobachteten Ausfälle aus einer anderen als der zu untersuchenden Anlage erfolgt nach den Gl. 3-7 - Gl. 3-13. Jedoch stellt Gl. 3-10 in diesem Fall nicht das Endergebnis dar; vielmehr dient $f(\lambda|E)$ als a-priori-Verteilungsdichte für die anlagenspezifisch beobachteten Ausfälle. In diesem Fall wird eine Gamma a-priori-Verteilungsdichte mit einer Poissonverteilung verknüpft. Dabei ergibt sich folgende a-posteriori-Verteilungsdichte

$$g(\lambda | E) = \frac{(T_1 + T)^{\alpha+s}}{\Gamma(s + \alpha)} \cdot \lambda^{s+\alpha-1} e^{-(T_1+T)\lambda} \quad (\lambda > 0) \quad \text{Gl. 3-14}$$

Dabei ist T_1 die Beobachtungszeit in der anderen Anlage und s die zugehörige Anzahl an Ausfällen; α ist gleich $k + \frac{1}{2}$, wobei k die Anzahl der anlagenspezifisch beobachteten Ausfälle und T die zugehörige Beobachtungszeit darstellt.

Als Erwartungswert von λ erhält man:

$$E[\lambda | E] = \frac{s + \alpha}{T + T_1} \quad \text{Gl. 3-15}$$

Die Verteilungsfraktile werden aus der folgenden Beziehung ermittelt

$$\lambda^* = \frac{\chi^2(2\alpha + 2s; (1 \pm \gamma)/2)}{2(T + T_1)} \quad \text{Gl. 3-16}$$

In Gl. 3-16 bezeichnet λ^* das obere Fraktile bei positivem Vorzeichen auf der rechten Seite der Gleichung und das untere bei negativem Vorzeichen.

Liegen Werte aus N Anlagen vor (einschließlich der zu beurteilenden), so führt die Erweiterung der vorangehenden Beziehungen auf:

$$f(\lambda | E_1, \dots, E_N) = \frac{\left(\sum_{n=1}^N T_n \right)^{1/2 + \sum_{n=1}^N k_n}}{\Gamma\left(1/2 + \sum_{n=1}^N k_n\right)} \cdot \lambda^{\sum_{n=1}^N k_n - (1/2)} \cdot \exp\left(-\lambda \sum_{n=1}^N T_n\right); \quad (\lambda > 0) \quad \text{Gl. 3-17}$$

für die A-Posteriori-Wahrscheinlichkeitsdichte. In Gl. 3-17 sind k_n die Anzahl der Ausfälle in der Anlage n und T_n die zugehörigen Bezugszeiten.

Als Erwartungswert von λ ergibt sich:

$$E(\lambda | T_1, \dots, T_N) = \frac{2 \cdot \sum_{n=1}^N k_n + 1}{2 \cdot \sum_{n=1}^N T_n} \quad \text{Gl. 3-18}$$

Die Verteilungsfraktile folgen aus:

$$\lambda^* = \frac{\chi^2\left(2 \cdot \sum_{n=1}^N k_n + 1, (1 \pm \gamma) / 2\right)}{2 \cdot \sum_{n=1}^N T_n} \quad \text{Gl. 3-19}$$

Das einstufige Bayesverfahren mit informativer a-priori-Verteilung aus Vorinformationen erfasst nicht mehr Unsicherheiten als die frequentistische Auswertung. Es beruht ebenso wie diese auf der Modellvorstellung, dass λ bzw. p ein unbekannter Parameter ist, der in allen Anlagen, aus denen die Vorinformationen gewonnen werden, den gleichen Wert wie in der betrachteten Anlage hat. (Vgl. auch die vorstehende Bemerkung bei Fall 1).

° **Fall 3: Zweistufige Bayesverfahren**

Die voranstehenden Beziehungen setzen voraus, dass die Komponenten in den verschiedenen Anlagen und ihre Betriebs- und Umgebungsbedingungen und damit ihr Ausfallverhalten identisch sind. Falls nur eine gewisse Ähnlichkeit vorliegt, ist die Benutzung des "empirischen Bayes", z.B. nach /MAR 81/ möglich. Empfohlen wird die Anwendung des zweistufigen Bayesverfahrens. Für dieses Verfahren lassen sich keine expliziten analytischen Lösungen angeben. Es ist vielmehr erforderlich, unter Annahme eines Hyper-Verteilungsgesetzes und eines zugrunde gelegten Hyper-Prior für die Parameter der Hyperverteilung numerische Lösungsverfahren zu programmieren. Zwei Ausprägungen dieser Vorgehensweise sind in /BEC 02/ beschrieben.

Für die Anwendung des zweistufigen Verfahrens ist im Rahmen einer ingenieurmäßigen Bewertung auf Grund von Art und Umfang der Vorinformation aus den anderen Anlagen sicherzustellen, dass auf diesem Wege eine Verteilung gewonnen wird, die ein geeigneter Ausdruck des Kenntnisstandes zur Ausfallrate in der Zielanlage ist. Für diese Bewertung können u.a. von Bedeutung sein: Das Ausfallverhalten der Komponenten, der Komponententyp, Konstruktion, Hersteller, Betriebs- und Umgebungsbedingungen sowie Instandhaltungskonzepte. Weiterhin ist auch die Spezifik des angewendeten zweistufigen Verfahrens - hier insbesondere auch die Art der Annäherung der Ergebnisse des zweistufigen Verfahrens an die des einstufigen Verfahrens für große Ausfallzahlen in der Zielanlage - zu berücksichtigen. Die Ergebnisse von Benchmarkrechnungen zum Verfahrenvergleich /BEC 01/ sowie publizierte Bewertungen - wie zum Beispiel /COO 02/ - beinhalten nützliche Informationen.

Im Rahmen von /BEC 01/ haben sich die zweistufigen Verfahren im Vergleich mit den einstufigen Verfahren als konkurrenzfähig, bei kleinen Ausfallzahlen in der Zielanlage sogar als überlegen erwiesen. Das einstufige Bayesverfahren kann dennoch auch bei kleinen Ausfallzahlen Anwendung finden, wenn eine Ergebnisrelevanz nicht gegeben ist.

Verfahrensvergleiche im Rahmen von Benchmarks sind auch darum wichtig, weil bestimmte im Rahmen der Modellierung zu treffende Annahmen praktisch nicht verifiziert werden können, z.B. die Wahl des Hyperpriors.

Ein zweistufiges Bayesverfahren wird beispielsweise im Rahmen der Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für die ZEDB (Zentrale Zuverlässigkeits- und Ereignisdatenbank) angewendet /BLO 04/, deren Auswertungen jährlich veröffentlicht werden /VGB 02/.

° **Fall 4: Fehlen anlagenspezifischer Beobachtungen**

Liegen keine anlagenspezifischen Beobachtungen vor, kann eine generische Verteilung als Ausdruck des Kenntnisstandes angesehen werden. Dieser Fall wird analog dem ersten Fall, d.h. mit nicht informativer a-priori-Verteilung, behandelt. Dabei ist in den Gl. 3-8 - Gl. 3-13 T durch T1 und k durch s zu ersetzen. Wegen des gegenüber dem Fall mit anlagenspezifischen Beobachtungen (Fall 1) schlechteren Kenntnisstandes bezüglich der Anwendbarkeit auf die zu untersuchende Anlage wird ein Heranziehen des "empirischen Bayes" /MAR 81/ oder des Superpopulationsansatzes /BEC 02/ empfohlen.

3.3.2 Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung

Anstelle der Mutmaßlichkeitsfunktion der Gl. 3-8 hat man in diesem Fall

$$L(E|u) = \binom{n}{k} u^k (1-u)^{n-k}, \quad 0 < u < 1 \quad \text{Gl. 3-20}$$

In Gl. 3-20 ist u die Ausfallwahrscheinlichkeit auf Anforderung, n die Anzahl der Anforderungen und k die Anzahl der Ausfälle.

° **Fall 1:**

Als nicht informative a-priori-Verteilungsdichte ergibt sich in diesem Fall die folgende Beziehung /MAR 81/

$$f(u) \propto [u(1-u)]^{-\frac{1}{2}} \quad (0 < u < 1) \quad \text{Gl. 3-21}$$

Setzt man Gl. 3-20 und Gl. 3-21 in die entsprechend modifizierte Gl. 3-7 ein, so erhält man die a-posteriori-Verteilungsdichte

$$f(u|E) = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(k+\frac{1}{2})\Gamma(n-k+\frac{1}{2})} u^{(k+\frac{1}{2})-1} \cdot (1-u)^{(n-k+\frac{1}{2})-1} \quad \text{Gl. 3-22}$$

Gl. 3-22 stellt eine Beta-Verteilung dar (vgl. /ABR 84/). Als Erwartungswert für U erhält man aus der a-posteriori-Verteilung

$$E[u] = \int_0^1 u \cdot f(u|E) du = \frac{2k+1}{2(n+1)} \quad \text{Gl. 3-23}$$

Die 5% bzw. 95% Verteilungsfraktile erhält man unter Nutzung der Beziehung zwischen Beta- und F-Verteilung (vgl. /ABR 84/)

$$u_{\gamma} = \frac{2k+1}{2k+1+2\left(n-k+\frac{1}{2}\right)F_{\gamma}\left[2\left(n-k\right)+1, 2k+1\right]} \quad \text{Gl. 3-24}$$

wobei $\gamma = 0,95$ für das 95 % Fraktile und $\gamma = 0,05$ für das 5 % Fraktile zu wählen ist.

° **Fall 2:**

Analog zur Behandlung der Ausfallraten stellt das Ergebnis (Gl. 3-22) in diesem Fall nicht das Endergebnis dar, sondern die a-priori-Verteilungsdichte. Für diese erhält man bei binomialverteilten Ausfallwahrscheinlichkeiten /MAR 81/:

$$g(u|E) = \frac{\Gamma(n+m+1)}{\Gamma\left(k+n+\frac{1}{2}\right) \cdot \Gamma\left(n+m-k-x+\frac{1}{2}\right)} \cdot u^{\left(k+\frac{1}{2}+x\right)-1} (1-u)^{\left(n+m-k-x+\frac{1}{2}\right)-1} \quad (0 < u < 1)$$

Gl. 3-25

Dabei ist k die Anzahl der Ausfälle und m die Anzahl der Anforderungen in der anderen Anlage.

Als Erwartungswert ergibt sich in diesem Fall

$$E[u] = \int_0^1 f(u|E) u \, du = \frac{k+x+\frac{1}{2}}{n+m+1} \quad \text{Gl. 3-26}$$

Die 5% bzw. 95% Fraktile der Verteilung erhält man unter Nutzung der Beziehung zwischen Beta- und F-Verteilung (vgl. /ABR 84/)

$$u_{\gamma} = \frac{2k+2x+1}{2k+2x+1+2\left(n+m-k-x+\frac{1}{2}\right)F_{\gamma}\left[2\left(n+m-k-x\right)+1, 2k+2x+1\right]} \quad \text{Gl. 3-27}$$

wobei $\gamma = 0,95$ für das 95 % Fraktile und $\gamma = 0,05$ für das 5 % Fraktile zu wählen ist.

Die voranstehenden Beziehungen setzen voraus, wie bereits gesagt, dass die Komponenten in den verschiedenen Anlagen und ihre Betriebs- und Umgebungsbedingungen hinreichend ähnlich sind.

° **Fall 3:**

Falls nur eine gewisse Ähnlichkeit vorliegt, ist die Benutzung des "empirischen Bayes" /MAR 81/ oder des Superpopulationsansatzes /BEC 02/, der allerdings für Ausfallwahrscheinlichkeiten zu modifizieren wäre, zu empfehlen.

° **Fall 4:**

Der vierte Fall wird analog dem ersten Fall, d.h. mit nicht informativen a-priori-Verteilung behandelt. Dabei ist in der Gl. 3-22, Gl. 3-23 und Gl. 3-24 x durch k und n durch m zu ersetzen. Allerdings sind in einem solchen Fall ebenfalls der "Superpopulationsansatz" oder der "empirische Bayes" zu empfehlen.

Wie bereits in Gl. 3-2 ausgeführt, erhält man für Gl. 3-24 bzw. für Gl. 3-27 Darstellungen durch die χ^2 -Verteilung in Analogie zu Gl. 3-2 und Gl. 3-3, wenn jeweils die Binomialverteilung der Grundgesamtheit durch eine Poissonverteilung angenähert werden kann.

Die Einhaltung der oben genannten Bedingungen ist ingenieurmäßig und statistisch zu überprüfen.

3.4 SCHÄTZUNG DER AUSFALLRATE BEI PERIODISCH GETESTETEN KOMPONENTEN

Abschließend soll kurz ausgeführt werden, wie sich die Schätzung der Ausfallrate modifiziert, wenn man die Annahme der sofortigen Reparatur nach Ausfall (siehe Gl. 3-2) aufgibt und durch Reparatur nach Ausfall, der bei periodischen Test festgestellt wird, ersetzt.

In diesem Fall ist Gl. 3-1 zu ersetzen durch:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\tau} \ln \left[\frac{1}{1 - \frac{k}{j \cdot N}} \right] \quad \text{Gl. 3-28}$$

Dabei sind τ das konstante Testintervall, N die Zahl der Komponenten, k die Zahl der Ausfälle und j die Zahl der durchgeführten Tests.

Die Likelihood-Funktion (Gl. 3-8) ist in diesem Falle:

$$L(E | \lambda) \propto (1 - e^{-\lambda\tau})^k (e^{-\lambda\tau})^{j \cdot N - k} \quad \text{Gl. 3-29}$$

Die genaue Beachtung des Einflusses periodischer Prüfungen auf die Schätzung der Ausfallrate aus der festgestellten Anzahl an Ausfällen führt in allen Fällen, in denen hinsichtlich Prüfdichte und Ausfallhäufigkeit übliche Verhältnisse vorliegen, zu keiner nennenswerten Änderung der Schätzergebnisse im Vergleich zur näherungsweisen Schätzung bei unterstellter sofortiger Ausfallerkennung. Dies ergibt sich bereits aus dem Grenzübergang der Berechnungsgleichungen. Für diese Fälle ist es unerheblich, nach welchen Gleichungen ausgewertet wird. Die Anwendung der korrekten Gleichungen zur Beachtung des Einflusses periodischer Prüfungen ist aber eine Absicherung gegen optimistische Unterschätzungen der Ausfallrate in Fällen, in denen keine üblichen Verhältnisse vorliegen.

3.5 ERMITTLUNG DER ANLAGENSPEZIFISCHEN ZUVERLÄSSIGKEITSKENNGRÖSSEN FÜR NLB

Der Nichtleistungsbetrieb umfasst gemäß Abschnitt 4.3.2 von /MET 05/ definitionsgemäß das Abfahren der Anlage, beginnend mit dem Einfahren der Steuerstäbe aus dem Leistungsbetrieb mit dem Ziel der nuklearen Abschaltung der Anlage, den Stillstand der Anlage einschließlich des Brennelementwechsels, und das Wiederanfahren der Anlage; er ist beendet, wenn nach dem Wiederanfahren der konstante Leistungsbetrieb erreicht ist.

Die Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen wie z.B. Ausfallraten und Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Anforderung einerseits, und Eintrittshäufigkeiten von auslösenden Ereignissen andererseits erfolgt im Grundsatz mit den gleichen Methoden und nach den gleichen Regeln wie für den Leistungsbetrieb bereits ausführlich dargelegt. Jedoch sind in Hinblick auf spezifische Fragestellungen des Nichtleistungsbetriebs modifizierte Vorgehensweisen angezeigt.

Die Frage der Zuverlässigkeit von Personalhandlungen ist in Abschnitt 4.4 von /MET 05/ hinsichtlich der Methodik erörtert. Daten hierzu finden sich im Anhang E von /MET 05/.

Dies wird in den nachfolgenden Abschnitten im Überblick und an einigen ausgewählten Beispielen aufgezeigt.

3.5.1 Eintrittshäufigkeiten auslösender Ereignisse bei Nichtleistungsbetrieb

Grundsätzlich sollte die Auswertung von auslösenden Ereignissen auf Basis der vorliegenden Betriebserfahrung erfolgen. Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Ermittlung von Ereigniswahrscheinlichkeiten während des Nichtleistungsbetriebs beschrieben.

Für die Untersuchungen des Nichtleistungsbetriebs wird im Allgemeinen eine Standardrevision mit BE-Wechsel zugrundegelegt, wie sie obligatorisch ist für den Austausch eines Teils des Kernbrennstoffs und zur Inspektion und Revision der technischen Anlage. Derartige Standardrevisionen erfolgen in der Regel in ca. jährlichen Abständen. Daneben werden aus der Betriebserfahrung auch geplante oder ungeplante – störungsbedingte – Anlagenstillstände beobachtet, bei denen Reparatur- oder Nachrüstmaßnahmen durchgeführt wurden. Ebenfalls werden Anlagenstillstände beobachtet, bei denen lediglich Brennelemente ausgetauscht wurden, ohne begleitende Revision der technischen Anlage.

Bei all diesen Stillständen werden auslösende Ereignisse beobachtet, die auf Grund vergleichbarer Anlagenzustände auch in verschiedenen Phasen einer Standardrevision zu unterstellen sind. Für die Auswertung der auslösenden Ereignisse während des Nichtleistungsbetriebs sind daher alle relevanten Stillstände zu berücksichtigen, die während des festgelegten Beobachtungszeitraums aufgetreten sind.

Eintrittshäufigkeiten werden als Häufigkeiten pro Zeiteinheit angegeben. Im Rahmen einer PSA für den Nichtleistungsbetrieb sind die Häufigkeiten pro Jahr anzugeben.

Bei der Ermittlung der Eintrittshäufigkeiten von auslösenden Ereignissen in einer PSA für den Nichtleistungsbetrieb (vgl. auch /IAE 00/) ist zu unterscheiden, ob das auslösende Ereignis von der Dauer des Anlagenbetriebszustandes oder von bestimmten Maßnahmen, wie beispielsweise Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, abhängig ist. Daher sind grundsätzlich folgende beiden Fälle zu betrachten:

- Die Häufigkeit für das Eintreten des auslösenden Ereignisses steigt mit der zeitlichen Dauer des betrachteten Zeitraums.
- Die Häufigkeit für das Eintreten des auslösenden Ereignisses ist unabhängig von der zeitlichen Dauer des betrachteten Zeitraums.

Im ersten Fall werden Ereignisse untersucht, deren Eintrittshäufigkeit von der Dauer des betrachteten Zeitraums abhängt und deren Ursache nicht auf bestimmte Maßnahmen oder Handlungen zurückzuführen ist. Zur Ermittlung der Häufigkeit des Eintretens bei einer Auswertung der Betriebserfahrung sind die Anzahl der beobachteten Ereignisse auf die kumulierten Stillstandszeiten der berücksichtigten Anlagenstillstände zu beziehen. Der ermittelte Wert ist eine Häufigkeit pro Zeiteinheit.

Im zweiten Fall werden die Ereignisse untersucht, deren Ursachen auf fehlerhafte Personalhandlungen während des betrachteten Anlagenzustands zurückzuführen sind. Eine Korrelation mit der Dauer des betrachteten Zeitraums ist dabei nicht gegeben. Die Häufigkeit des Eintretens kann bei einer numerischen Auswertung der Betriebserfahrung durch Bezug der beobachteten Ereignisse auf die kumulierte Anzahl der entsprechenden Maßnahmen in allen zu berücksichtigenden Anlagenbetriebszuständen und Anlagenstillständen ermittelt werden. Der so ermittelte Wert stellt eine Fehlerwahrscheinlichkeit pro Durchführung einer Maßnahme dar. Zur Umrechnung dieser Fehlerwahrscheinlichkeit in eine Eintrittshäufigkeit wird der Wert mit der erwarteten Anzahl der Maßnahmen, die jeweils im betrachteten Anlagenbetriebszustand zum auslösenden Ereignis führen können, und der Anzahl dieser Anlagenbetriebszustände pro Jahr multipliziert.

Die zur Berechnung der Eintrittshäufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten anzuwendenden mathematischen Verfahren sind aus den entsprechenden Analysen für den Leistungsbetrieb bekannt.

Für eine konsistente statistische Ermittlung der Eintrittshäufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der beobachteten auslösenden Ereignisse müssen die kumulierten Stillstandszeiten und die Anzahl der berücksichtigten Anlagenzustände ermittelt werden.

Kann eine numerische Auswertung der Betriebserfahrung nicht durchgeführt werden, besteht zum einen die Möglichkeit zur Ermittlung von Eintrittshäufigkeiten in der Bestimmung der Ausfälle betrieblicher Systeme über eine Fehlerbaumanalyse; dabei ist die zutreffende zuverlässigkeitstheoretische Größe, die Ausfallhäufigkeitsdichte für das TOP-Ereignis, heranzuziehen.

Zum anderen wird bei auslösenden Ereignissen, die durch fehlerhafte Personalhandlungen verursacht werden, eine Analyse und Bewertung der Zuverlässigkeit von Personalhandlungen vor Ereigniseintritt durchgeführt. Bei diesen Maßnahmen handelt es sich um durchführungsabhängige Ereignisse, d.h. die Häufigkeit ist von der Anzahl der durchzuführenden Maßnahmen und nicht von der Dauer des betrachteten Zeitraums abhängig. Zur Umrechnung einer so ermittelten Fehlerwahrscheinlichkeit in eine Eintrittshäufigkeit wird dieser Wert mit der erwarteten Anzahl der Maßnahmen, die jeweils im betrachteten Anlagenbetriebszustand zum auslösenden Ereignis führen können, und der Anzahl dieser Anlagenbetriebszustände pro Jahr multipliziert.

Außerdem besteht die Möglichkeit zur Ermittlung einer Eintrittshäufigkeit in der Verwendung generischer Daten, indem die Betriebserfahrung von anderen Anlagen einbezogen wird. Dann ist für diese Anlagen entsprechend zu verfahren, unter Beachtung selbstverständlich der Übertragbarkeit im Einzelfall, die von anlagentypischen Spezifika abhängig sein kann.

3.5.2 Zuverlässigkeitskenngrößen im Nichtleistungsbetrieb

Besonderheiten bei Zuverlässigkeitskenngrößen, die sich auf Komponenten beziehen, sind im Nichtleistungsbetrieb vornehmlich in zweierlei Hinsicht zu erwarten:

- Zum einen sind im Nichtleistungsbetrieb aktive Komponenten zu betrachten, die im Leistungsbetrieb nicht in Betrieb sind bzw. bei Störungen im Leistungsbetrieb nicht angefordert werden. Insoweit ist eine erweiterte Datenbasis vonnöten.
- Zum anderen ist zu beachten, dass unter Umständen bei Ereignissequenzen aus dem Nichtleistungsbetrieb Komponenten – beispielsweise Pumpen oder Armaturen – nicht in gleicher Weise oder nicht unter gleichartigen Betriebsbedingungen arbeiten als bei Ereignissequenzen aus dem Leistungsbetrieb. Dies ist in vielen Fällen durch entsprechende Auslegung berücksichtigt. Ob dies im konkreten Fall Einfluss auf die anzusetzenden Zuverlässigkeitskenngrößen hat, ist einzelfallbezogen zu prüfen, wenn sich die Betriebsbedingungen wesentlich von denen im Leistungsbetrieb unterscheiden.

Im ersten Fall ist zu prüfen, ob sich aus der Betriebserfahrung bei Auswertung speziell der Anlagenstillstände (in vergleichbarer Weise wie in Abschnitt 3.5.1 für die auslösenden Ereignisse umrissen) Zuverlässigkeitskenngrößen ermitteln lassen. Ist dies nicht möglich oder ist die statistische Basis aus der Betriebserfahrung zu schmal, so ist in geeigneter Weise von generischen Daten Gebrauch zu machen.

Im zweiten Fall ist beispielsweise zu prüfen, ob die abweichenden Betriebsbedingungen (bei Pumpen können beispielsweise andere Vordruckhöhen gegeben sein oder andere Medium-Temperaturen, bei Armaturen und Klappen andere Drücke und Differenzdrücke wie bei Einsatzbedingungen im Leistungsbetrieb; bei allen aktiven Komponenten kann eine höhere Wahrscheinlichkeit von Fremdkörpern im Medium möglicherweise beachtlich sein) so deutliche

Auswirkungen haben, dass die anzusetzenden Ausfallraten bzw. Ausfallwahrscheinlichkeiten von den im Leistungsbetrieb angesetzten Werten abweichen müssen.

3.6 LITERATUR

- /ABR 84/ M. Abramowitz, I. Stegun (eds.):
Pocketbook of Mathematical Functions - Abridged ed. of Handbook of Mathematical Functions
Thun; Frankfurt/Main: Deutsch 1984
ISBN 3-87144-818-4
- /BEC 01/ G. Becker, E. Hofer:
Schätzung von Zuverlässigkeits-Kennwerten aus der Evidenz verschiedener Anlagen:
Vergleich der Annahme einer gemeinsamen Ausfallrate („Common Incident Rate“ -
Modell) mit Herangehensweisen unter Verwendung des Superpopulationsansatzes,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2918, Köln,
Juli 2001
- /BEC 02/ G. Becker, E. Hofer:
Erarbeitung eines aktualisierten Beitrags zum Datenband PSA zur Anwendung des
zweistufigen Bayesverfahrens zur Schätzung von Zuverlässigkeitskenngrößen,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-3049, Garching,
2002
- /BLO 04/ J. Blombach, R. Buckermann, B. Schubert:
The Centralised Component Reliability Database for PSA Purposes ZEDB
- Status, Evaluation 2002, Trends - ,
PSAM 7, Berlin, June 14 - 18, 2004
- /COO 02/ R. Cooke et al.:
Mathematical Review of ZEDB Two-Stage Bayesian Models,
Herausgegeben von VGB PowerTech e.V., ISSN 1439 – 7498, April 2002
- /HÄR 83/ G. Härtler:
Statistische Methoden für die Zuverlässigkeitsanalyse,
Berlin, 1983
- /IAE 00/ International Atomic Energy Agency:
Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants for Low Power and Shutdown
Modes,
IAEA-TECDOC-1144,
ISSN 10011-4289, Wien; März 2000
- /MAR 81/ H. F. Martz, R. A. Waller:
Bayesian Reliability Analysis,
New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1981
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05

- /STA 70/ K. Stange:
Angewandte Statistik - Erster Teil: Eindimensionale Probleme Berlin, Heidelberg, New
York, 1970
- /VGB 02/ VGB PowerTech e.V. (Hrsg.):
Zuverlässigkeitskenngrößen für Kernkraftwerkskomponenten
Auswertung 2002,
ISSN 1439 - 7498

4 ERMITTLUNG DER HÄUFIGKEITEN VON LECKS UND BRÜCHEN IN ROHRLEITUNGEN

4.1 VORBEMERKUNG

Im Folgenden wird die überarbeitete GRS-Methodik zur nennweitenabhängigen Ermittlung der Eintrittshäufigkeiten von Lecks in Rohrleitungen beschrieben. Dabei umfasst der Begriff Leck generell einen Integritätsverlust mit einer nicht bestimmungsgemäßen Freisetzung des Betriebsmediums, sowohl als Folge einer lokalen Perforation der drucktragenden Wand oder einer Dichtverbindung der Rohrleitung (Leckage) als auch infolge eines Rohrleitungsabrisses (Bruch).

Es wird die differenzierte Vorgehensweise bei der Ermittlung (Schätzung) der Eintrittshäufigkeiten von Lecks und Brüchen in den verschiedenen Rohrleitungen der druckführenden Umschließung und ihren Nennweitenklassen dargelegt.

4.2 EINLEITUNG

Im Rahmen der Phase B der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke (DRS-B) /BMF 90/ wurde von der GRS eine Methodik zur Ermittlung von Leckhäufigkeiten in Rohrleitungen erarbeitet, die grundsätzlich bei Druck- und Siedewasserreaktoren eingesetzt werden kann. Sie wurde erstmals am Beispiel des Druckwasserreaktors der Referenzanlage der DRS-B erprobt und danach bei mehreren PSA für Druckwasserreaktoren erfolgreich eingesetzt. Die damit erzeugten Datensätze für Leck- und Bruchhäufigkeiten von Rohrleitungen sind im Einklang mit der entsprechenden anlagenspezifischen und generischen nationalen Betriebserfahrung.

Es ist darauf hinzuweisen, dass der im Rahmen der DRS-B erarbeitete Datensatz für die Häufigkeiten von Lecks in Rohrleitungen der Referenzanlage nur für eine Übergangszeit für die PSA verwendet werden sollte, d.h. Häufigkeiten, die auf Grund tatsächlich aufgetretener Lecks bzw. auf Grund einer Nullfehler-Statistik ermittelt wurden, sind entsprechend dem inzwischen erweiterten Beobachtungszeitraum anzupassen. Weiterhin ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse für die Referenzanlage der DRS-B auf die jeweils zu untersuchende Anlage zu überprüfen. Insbesondere bei solchen Häufigkeitswerten, die durch die statistische Auswertung der Betriebserfahrung ermittelt werden, können sich auf Grund anderer Populationen, z.B. bei Zwei- und Drei-Loop-Anlagen, oder auf Grund anderer Betriebsbedingungen in Teilbereichen Unterschiede ergeben.

Die Methodik stützt sich essentiell auf drei tragende Säulen ab:

- die Statistik der Betriebserfahrung mit Lecks und Brüchen in Rohrleitungen,
- eine vereinfachende Beschränkung von Leckagen auf die Population so genannter 'leckrelevanter Grundelemente' verkürzt 'leckrelevante Stellen' genannt und
- die Nutzung der Gegebenheit, dass die größeren und großen Rohrleitungen in der Regel für den Bruchausschluss qualifiziert sind.

Vorab sind alle zu untersuchenden Rohrleitungssysteme generell daraufhin zu überprüfen, ob genügend Informationen und Argumente dafür vorliegen, dass aktive Korrosionsmechanismen mit Potenzial zu systematischen Schäden ausgeschlossen werden können. Bei einer Anwendung der Methodik speziell auf Siedewasserreaktoren ist zu beachten, dass bei diesen Anlagen unerwartete Schäden durch interkristalline Spannungsrisskorrosion an Rohrleitungen aus stabilisiertem austenitischen Werkstoff in der Umgebung der Schweißnähte (leckrelevante Stellen) aufgetreten sind. Insofern können Modifikationen des Konzepts erforderlich sein, wenn ein Ausschluss dieses Schadensmechanismus im betreffenden Rohrstrang nicht nachgewiesen werden kann.

Im folgenden Abschnitt 4.3 wird die Vorgehensweise der GRS zur Ermittlung der Leckhäufigkeiten in aufbereiteter Form beschrieben. Die grundlegenden Ansätze dieser Methodik lagen auch bereits der Erarbeitung des Datensatzes der Leckhäufigkeiten in /BMF 90/ zugrunde.

Sofern für eine zu untersuchende Anlage eine Neubewertung von Leckhäufigkeiten erforderlich wird, kann grundsätzlich die nachstehend beschriebene Vorgehensweise der GRS angewendet werden.

4.3 ERMITTLUNG VON LECKHÄUFIGKEITEN

4.3.1 Grundlagen

Lecks in Folge Versagens von Rohrleitungen können durch wanddurchdringende Risse oder durch Brüche sowie durch Undichtigkeiten an lösbaren Verbindungen verursacht werden.

Erfahrungsgemäß tritt ein Rohrleitungsversagen selten an ungestörten Bereichen der Rohrleitung auf, sondern wesentlich häufiger an bestimmten 'leckrelevanten Stellen', wie z.B. Flanschen, Anbindungen an Komponenten, Rohrverzweigungen, Krümmern, Reduzierungen, Verstärkungen für Rohrhalterungen, Rohrbündeln in Wärmetauschern, Mischschweißnähten. In solchen Bereichen werden durch Steifigkeitssprünge, inhomogene Temperaturen und Strömungen in Einspeisebereichen sowie durch äußere Zusatzlasten, wie z.B. Biegemomente oder Kräfte, Spannungsüberhöhungen verursacht. Insbesondere auf Grund von Unregelmäßigkeiten der Oberfläche oder durch geringe Herstellungsfehler in Schweißnähten, die sich in diesen Bereichen befinden und bei der Herstellungsprüfung entweder nicht gefunden oder als nicht relevant bewertet wurden, können sich dann Schädigungen entwickeln. Leckrelevante Stellen können sich auch in Bereichen befinden, die von lokalen korrosionsbedingten Einflüssen (z.B. Anreicherungen, Ablagerungen, Kondensation, Schutzschichtstörungen) betroffen sind.

Grundsätzlich sind mindestens die folgenden Schädigungsmechanismen zu betrachten:

- Rissbildung
 - auf Grund thermischer oder mechanischer Ermüdung (thermische Wechsellasten, z.B. durch Schichtung, Fluktuation, Schleichströmung des Mediums, und mechanische Wechsellasten, wie z.B. Schwingungen induziert durch Maschinen oder Strömung),
 - Risskorrosionsarten (z.B. Spannungsrisskorrosion),
- Materialschwächung durch (flächenhafte) Korrosion oder Erosion,
- Überbelastung (z.B. durch Innendruck, Temperatur, Fehlfunktion von Unterstützungen und Stoßbremsen, Wasserhammer, Kondensationsschlag, Zündung von Radiolysegas),
- Montage- und Wartungsfehler,
- äußere Einwirkungen, z.B. aus Montage- und Transportarbeiten, Erdbeben.

Welche Schädigungsursachen bei dem untersuchten System zu berücksichtigen sind, hängt vor allem vom Werkstoff, den Abmessungen, dem Medium und den Betriebsbedingungen ab. So können mechanische Schwingungen vor allem bei kleinen Nennweiten auftreten, während thermische Wechsellasten, z.B. als Folge von Undichtigkeiten von Absperrorganen, eher bei größeren Nennweiten von Bedeutung sind. Einflüsse aus der Inbetriebnahme oder aus längeren Stillstandszeiten können die Häufigkeit bestimmter Schädigungsursachen, wie z.B. aus Montage- und Wartungsfehlern oder infolge Korrosion, erhöhen. Hierzu ist auch die Anwendung von ggfs. Korrosion auslösenden Hilfsmitteln bei Montage und Wartung (z.B. Chloridkontamination durch Klebebänder und Folien, Schmiermittel) zu rechnen.

Werden Eintrittshäufigkeiten von Lecks auf Grund einer statistischen Auswertung der Betriebserfahrung ermittelt, so sind bei der Festlegung der in die Auswertung einbezogenen Population sowohl die Vergleichbarkeit der Systeme, Werkstoffe, Wasserchemie, Herstellungsgegebenheiten, Auslegung und Prüfungen als auch die Qualität des Erfahrungsrückflusses aus den Anlagen zu bewerten. Statistiken sollten nach Möglichkeit in Bezug auf die Zahl der leckrelevanten Stellen eines Systems bzw. einer Nennweitenklasse erstellt werden.

Für die Bestimmung der Häufigkeit eines Ereignisses ist eine Statistik über tatsächlich aufgetretene Vorläuferereignisse (z.B. Lecks aus wanddurchdringenden Rissen) einer Nullfehler-Statistik für das zu bewertende Ereignis (z.B. Bruch) vorzuziehen. Der Zusammenhang zwischen der Häufigkeit der Vorläuferereignisse und des zu bewertenden Ereignisses ist dann auf Grund der zugrunde liegenden Schädigungsmechanismen und des Potentials für das einleitende Ereignis einzuschätzen.

Bei bestimmten Systemen mit sehr hohem Qualitätsstandard wird es auch für denkbare Vorläuferereignisse eines Lecks keine Vorkommnisse geben. Dies trifft zur Zeit im wesentlichen für die Hauptrohrleitungen der Druck- und Siedewasserreaktoren zu, die nach den Gesichtspunkten der Basissicherheit ausgelegt sind. In solchen Fällen ist es möglich, extrem kleine Häufigkeiten (z. B. $< 10^{-7}/a$) zu ermitteln, die deutlich unter den aus einer Nullfehler-Statistik abgeschätzten Häufigkeiten liegen. Derartige Analysen wurden von verschiedenen Stellen mit Hilfe probabilistischer bruchmechanischer Methoden durchgeführt und kamen zu vergleichbaren Ergebnissen. Üblicherweise wird für derartige Rohrleitungen von einem Bruchausschluss ausgegangen.

Für die Qualifizierung von Rohrleitungen für einen Bruchausschluss sind neben dem Konzept der Basissicherheit /RSK 79/, /RSK 81/ eine Reihe weiterer Maßnahmen zur Konzeptabsicherung erforderlich. Diese in Prinzipien zusammen gefassten Anforderungen an die Rohrleitungen sowie die daraus abgeleiteten Arbeitsschritte für den Nachweis wurden weiter entwickelt und sind in /BEL 90/, /BIN 95/, /SCH 95/, /BEL 95/, /GRS 00/, /GRS 02/ textlich und in Form tabellarischer Übersichten beschrieben.

4.3.2 Klassifizierung der Lecks

Im Folgenden wird von Lecks als Sammelbegriff für wanddurchdringende Risse oder Brüche gesprochen.

Bei der Ermittlung von Leckhäufigkeiten für Sicherheitsanalysen ist jeweils zu überlegen, auf welche Strukturen die Leckhäufigkeiten zu beziehen sind. Hier bieten sich Größen wie:

- ein gesamter Systemstrang (z. B. TH-System, nicht absperrender Abschnitt, oder einfach absperrender Abschnitt),
- die Längeneinheit von Rohrleitungen einer bestimmten Nennweite, oder
- eine Schweißnaht

als Referenzeinheiten an.

Die Erfahrung zeigt, dass die Häufigkeit von Lecks abhängig von der betrachteten Struktur (z. B. Geradrohr, Schweißnaht) ist. So treten Lecks aus Rissen bei den hier betrachteten Systemen vorzugsweise im Umgebungsbereich von Schweißnähten auf. Auch dabei ist die Häufigkeit an Schweißnähten in der Nähe von Strukturdiskontinuitäten (z. B. Anbindung einer Rohrleitung an eine Komponente) dominant.

Diesen Überlegungen wird bei der Auswahl der leckrelevanten Konstruktionselemente und Orte Rechnung getragen.

Lecks in Rohrleitungen können nach folgenden Gesichtspunkten klassifiziert werden:

- System (bzw. Funktion der Rohrleitung oder des Rohrleitungsabschnitts),
- Anlagenzustand bei Eintritt des Lecks (z.B. Leistungs-, Nichtleistungsbetrieb),
- Konstruktionselement bzw. Ort,
- Leckgröße (bezogen auf die Strömungsquerschnittsfläche F der Rohrleitung),
- Nennweite der Rohrleitung.

Jeder dieser Gesichtspunkte wird innerhalb einer eigenen Dimension in einer Matrix dargestellt. In der Tabelle 4-1 werden die Elemente dieser Matrix beschrieben und mit Beispielen illustriert. Entsprechend dieser Darstellung haben die Häufigkeitswerte der Lecks fünf Indizes.

Der erste definiert das System, die Funktion und den Abschnitt, auf die der Häufigkeitswert anzuwenden ist (z.B. TH-System innerhalb der ersten Absperrarmatur).

Der zweite Index beschreibt den Betriebszustand, der für die Anwendung maßgeblich ist (z.B. Leistungsbetrieb). Wenn es nicht möglich war, Leckhäufigkeiten anlagenzustandsspezifisch zu ermitteln oder diese Unterscheidung gar nicht erforderlich ist, dann werden "nicht-anlagenzustandsspezifische" Leckhäufigkeiten ermittelt. Diese sind dann als eine mit der Zeitdauer der einzelnen Anlagenzustände gewichtete Summe aufzufassen (Summation über alle v)

$$\lambda_{u,v,w,x,y} = \left(\sum \lambda_{u,v,w,x,y} \cdot \tau_v \right) / \sum \tau_v \quad \text{Gl. 4-1}$$

wobei τ_v der zeitliche Anteil des Anlagenzustandes v am Alter der Anlage ist.

Der dritte Index definiert das Konstruktionselement oder den Ort (leckrelevante Stelle) für die die Leck- oder Bruchhäufigkeit zu bestimmen und anzuwenden ist (z.B. Schweißnaht in der Nähe einer Wanddickenänderung).

Der vierte Index dient zur Festlegung der betrachteten Leckgröße in Einheiten der Querschnittsfläche F der Rohrleitung (z.B.: 0,02 F-Leck, 2F-Leck).

Der fünfte Index charakterisiert die Nennweite der betrachteten Rohrleitung oder Armatur.

In der Praxis wird man mit weniger Matrixelementen auskommen. Man wird nach Leckentstehungsarten und daraus resultierenden Leckgrößen klassifizieren.

Tabelle 4-1: Klassifizierungselemente für Lecks

u	v	w	x	y
System / Funktion / Abschnitt	Anlagen- zustand	Konstruktions- element / Ort	Leckgröße	Nennweite
Beispiele:				
Primärkreis: TH-System vor erster Absperr- armatur (nicht absperrbar) TH-System zwi- schen 1. u. 2. Ab- sperrarmatur (1 x absperrbar) Volumenregel- system (TA-) (nicht absperrbar) HKL Volumenaus- gleichsleitung Entwässerungs- leitungen Sekundärkreis: FD-Leitungen Speisewasser- leitungen	An- und Abfahren Nulllast Leistungsbetrieb Teillast Überlast durch definierten Störfall Nichtleistungs- betrieb Sonderbelastun- gen (Vibration, thermische Wech- selbelastungen)	Rohrleitungs- Schweißnähte: Umfangsnähte: Einbindung von Komponenten, Krümmern; ggf. Längsnähte Grundwerkstoff Geradrohr Rohrbogen Reduzierstück Abzweig Stutzen Flansch Gehäuse	Rohrleitungen: Leckgröße abhän- gig von Spannungsniveau, Werkstoff, Ausführung, Betriebsbedin- gungen (nach u), Anlagenzustand (nach v), Art und Häufigkeit der WKP und Über- wachung. Gegebenenfalls Leckpostulate an- wendbar z.B. für Sicherheits- und Hilfssysteme (RSK-Leitlinien, Kap. 4.2) Leckgrößen für Rohrleitungen: 0,02 F, 0,1 F, 1 F, 2 F Leckgröße für Flansche: abhängig von Flansch- und Dichtungsart	Geradrohr und Rohrelemente: Geradrohr, Rohrbogen, Reduzierstück, Abzweig, Stutzen, Flansch

4.3.3 Datenbeschaffung

Als ideale Quelle für die Abschätzung der Häufigkeit von Lecks gilt die anlagenspezifische Betriebserfahrung. Bei sehr seltenen Ereignissen müssen jedoch weitere Überlegungen hinzugefügt werden. Denn, wenn neben dem Befund der Nullvorkommnis-Statistik keine weiteren Erkenntnisse verwendet werden, ergibt sich eine zu pessimistische Aussage über die Vorkommnishäufigkeit.

Unabhängig davon, ob auf ein System oder auf leckrelevante Stellen bezogene Leckhäufigkeiten ermittelt werden sollen, besteht immer die Schwierigkeit, den Aufbau des Systems oder die Zahl der leckrelevanten Stellen in allen statistisch erfassten Anlagen zu kennen.

Die Ermittlung der leckrelevanten Stellen kann beispielsweise nach Studium des entsprechenden Fließschemas mit Hilfe einer Anlagenbegehung erfolgen. In seltenen Fällen wird man allein aus den Fließplänen und Rohrleitungsisometrien diese Stellen ermitteln können.

Auf Grund der im Allgemeinen nicht sehr detaillierten Kenntnis aller in der Statistik berücksichtigten Anlagen wird angenommen, dass die Zahl der leckrelevanten Stellen in einem bestimmten Systemabschnitt der zu untersuchenden Anlage gleich dem Mittelwert dieser Anzahl in allen für die Statistik berücksichtigten Anlagen ist. Von diesem Grundsatz wird nur abgewichen, wenn von der untersuchten Anlage bekannt ist, dass sie bezüglich der Zahl bestimmter Stellen wesentlich vom Durchschnitt abweicht.

So werden beispielsweise für den nichtabsperzbaren Teil von Systemen wie Not- und Nachkühlsystem (TH) oder Volumenregelsystem pro Strang 2 leckrelevante Stellen angenommen: eine an der Einbindung in die HKL, eine an der Abschlussarmatur.

Je sicherheitsrelevanter ein Systemabschnitt ist, umso eher wird man darauf vertrauen können, dass Leckvorkommnisse aller Größen in den üblichen Betriebserfahrungsdokumenten beschrieben worden sind.

So wird man z. B. für Brüche von nicht absperzbaren Rohrleitungen im Hauptkühlmittelkreislauf für alle Nennweiten größer etwa DN 15 große Teile der internationalen Betriebserfahrung (USA, Japan, Frankreich) heranziehen können. Dabei sind natürlich nur die Anlagen zu berücksichtigen, bei denen gleiche oder ähnliche Werkstoffe verwendet wurden. Eine Beschränkung auf die Nullfehlerstatistik in den nicht absperzbaren Abschnitten deutscher Anlagen wäre zu konservativ.

Im Folgenden wird als Beispiel die Datenbeschaffung für den nicht absperzbaren Teil des Primärkreislaufs eines DWR gezeigt. Die diesem Beispiel zugrundeliegende Voraussetzung ist, dass das ganze System für die gleichen Betriebsparameter ausgelegt ist und auch mit gleichen Betriebsparametern betrieben wird.

Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass nur Schadensfälle berücksichtigt werden, die nicht auf Schädigungsmechanismen zurückzuführen sind, die durch mangelhafte Auslegung (z. B. zu hohe Ermüdung) zum Wirken kommen.

Es wird die Beschaffung der Schätzwerte der Leckhäufigkeit für die verschiedenen Nennweiten beschrieben, und wenn notwendig begründet.

4.3.3.1 Nennweitenbereich DN < 50

Für diese Nennweiten sind im Rahmen der PSA nur Lecks aus Brüchen, nicht aber aus wanddurchdringenden Rissen von Bedeutung. Leckgrößen aus wanddurchdringenden, stabilen Rissen lassen sich in diesem Nennweitenbereich mit der einhüllenden Größe für stabile Lecks entsprechend maximal 0,02 F auf $< 0,4 \text{ cm}^2$ abschätzen. Die Leckhäufigkeit für diese Nennweiten, verursacht durch Brüche, wird aus der Statistik von Lecks aus wanddurchdringenden Rissen und zusätzlichen Annahmen zum Verhältnis der Häufigkeiten von Lecks aus Brüchen zu Lecks aus wanddurchdringenden Rissen abgeschätzt.

Für das Verhältnis der Häufigkeit eines Bruches λ_B zu der eines wanddurchdringenden Risses λ_L wird im Nennweitenbereich $25 < \text{DN} < 250$

$$\lambda_B / \lambda_L = 2,5 / \text{DN}$$

Gl. 4-2

angenommen, wenn auch kleine Lecks durch Begehung oder eine sonstige Instrumentierung gut detektierbar sind.

Tabelle 4-2: Beispiele für Bruch-zu-Leck-Verhältnisse im Nennweitenbereich < 50:

DN [mm]	λ_B / λ_L	λ_B / λ_L
10	0,25	1 / 4
15	0,17	1 / 6
25	0,10	1 / 10
35	0,07	1 / 14
(50)	(0,05)	(1 / 20)

Die Abschätzungsformel Gl. 4-2 für kleine Nennweiten wurde aus generischen Auswertungen von vergleichbaren austenitischen Rohrleitungen mit überwiegendem Schadensmechanismus Ermüdung gewonnen /BEL 90/.

Bei verborgenen Rohrleitungen kleiner Nennweite, wie z. B. Wärmetauscherrohre, wird man direkt die Statistik von Brüchen berücksichtigen müssen. Die Häufigkeit eines Bruches errechnet sich somit als Produkt aus der aus der Statistik bekannten Häufigkeit eines Lecks λ_L und dieser Verhältniszahl:

$$\lambda_{B,D} = \lambda_{L,D} \cdot \left(\frac{\lambda_{B,D}}{\lambda_{L,D}} \right) \quad \text{Gl. 4-3}$$

Alternativ können auch direkt Statistiken von Brüchen verwendet werden, da Lecks aus wanddurchdringenden Rissen bei diesen Nennweiten nicht direkt risikorelevant und möglicherweise nicht lückenlos dokumentiert sind.

Welcher der beiden Wege beschritten wird, hängt von der Güte der Dokumentation der entsprechenden Ereignisse ab. Darüber hinaus muss eine hinreichend zuverlässige Bestimmung der Referenzpopulation möglich sein.

4.3.3.2 Nennweitenbereich $50 \leq DN \leq 150$

Rohrleitungen in diesem Nennweitenbereich werden bei statistischer Auswertung als eine Population betrachtet. Die auf eine leckrelevante Stelle bezogene Leckhäufigkeit ist allerdings nennweitenabhängig. Um diese Nennweitenabhängigkeit zu ermitteln, wird in Anlehnung an /THO 81/ - wobei die Rohrleitungslänge dort durch die Anzahl der leckrelevanten Stellen äquivalent ersetzt werden kann - wie folgt vorgegangen:

Für die Häufigkeit eines wanddurchdringenden Risses in der betrachteten Population wird angenommen:

$$\lambda_{L,D} = C \cdot (L_D \cdot D) / t_D^X \quad \text{Gl. 4-4}$$

Hierbei sind:

L_D Zahl der leckrelevanten Stellen,
 D Durchmesser,

t_D Wanddicke der Rohrleitungen des Durchmessers D

X Exponent mit Werten im Bereich 2 bis 3^2 .

Je nach Schadensmechanismus ergeben sich aus der Betriebserfahrung Werte für x zwischen 2 und 3. Die Vielfalt der zu berücksichtigenden Schadensmechanismen ergibt eine Unsicherheit für den Zahlenwert des hier anzusetzenden Exponenten. Es wird empfohlen, diese Unsicherheit bei der Schätzung der Leckhäufigkeit durch den Ansatz einer Gleichverteilung für die Größe t_D^X zu berücksichtigen.

Die Proportionalitätskonstante C errechnet sich aus der Betriebserfahrung mit der gesamten Population $50 \leq DN \leq 150$ zu:

$$C = \frac{\sum_{D=50}^{150} N_{L,D}}{\sum_{D=50}^{150} (L_D \cdot D / t_D^X) \cdot T_D} \quad \text{Gl. 4-5}$$

Hierbei sind:

T_D Anlagenbetriebsjahre der Rohrleitungen mit Durchmesser D ,

$N_{L,D}$ Zahl der aufgetretenen Lecks aus wanddurchdringenden Rissen in den Rohrleitungen mit Durchmesser D .

$\lambda_{L,D}$ ist dabei die Häufigkeit der Lecks aller möglichen Größen bei der betrachteten Nennweite. Sie besteht zu einem sehr großen Anteil (i.a. über 90 %) aus der Häufigkeit wanddurchdringender Risse, schließt aber auch die Häufigkeit von Brüchen mit ein.

Auch hier wird das Verhältnis der Häufigkeit eines Bruchs zu der eines wanddurchdringenden Risses mit Gl. 4-1 errechnet, so dass für die Bruchhäufigkeit $\lambda_{B,D}$ wiederum gilt:

$$\lambda_{B,D} = \lambda_{L,D} \cdot 2,5 / DN \quad \text{Gl. 4-6}$$

Für diese Abschätzung wird zur Verbreiterung der statistischen Basis für Rohrleitungen mit gleichem Werkstoff und Schadensmechanismus die im größeren Nennweitenbereich $50 \leq DN \leq 250$ verfügbare größere Population leckrelevanter Stellen herangezogen.

Tabelle 4-3: Beispiele für Bruch-zu-Leck-Verhältnisse im Nennweitenbereich $50 \leq DN \leq 150$:

DN [mm]	$\lambda_{B,D} / \lambda_{L,D}$	$\lambda_{B,D} / \lambda_{L,D}$
50	0,050	1 / 20
100	0,025	1 / 40
150	0,017	1 / 60

² Anmerkung: Für den Sonderfall des Exponenten $x = 2$: Der Thomas-Term $(L_D \cdot D / t_D^2)$, vereinfacht $(L \cdot D / t^2)$, kann als $(L/D) \cdot (D/t)^2$ interpretiert werden, wobei sich eine zunehmende relative 'Dünnwandigkeit' (D/t) des Rohrleitungsabschnitts quadratisch und eine zunehmende relative 'Länge' (L/D) linear, aber in gleicher Weise erhöhend auf die Leckhäufigkeit auswirkt.

4.3.3.3 Nennweitenbereich DN > 150

Bei Rohrleitungen von Nennweiten größer 150 unterscheidet sich das Vorgehen nach dem betrachteten System. Für Systeme des Primärkreislaufes (primärkühlmittelführende Leitungen) wird die folgende Unterteilung dieses Bereiches vorgenommen:

- $150 < DN < 250$
- $250 \leq DN$, ohne Hauptkühlmittelleitung
- Hauptkühlmittelleitung

Bei diesen Systemen wird eine weltweit sehr zuverlässige Dokumentation der Vorkommnisse und eine besonders sorgfältige Herstellung vorausgesetzt.

Im Weiteren wird das Vorgehen für primärkühlmittelführende Leitungen beschrieben.

4.3.3.3.1 Nennweitenbereich $150 < DN < 250$

Für Rohrleitungen dieses Nennweitenbereiches wird die auf eine leckrelevante Stelle bestimmter Art bezogene Leckhäufigkeit der für die gleiche Stelle bei Rohrleitungen der Nennweite DN 150 gleichgesetzt, die nach dem Verfahren für den Nennweitenbereich $50 \leq DN \leq 150$ gemäß Gl. 4-4, Tabelle 4-5 und Tabelle 4-6 ermittelt wird.

4.3.3.3.2 Nennweitenbereich $DN \geq 250$, ohne Hauptkühlmittelleitung

In deutschen Druckwasserreaktoren sind diese Primärkühlmittel führenden Rohrleitungen überwiegend aus austenitischen Stählen gefertigt. Da diese Stähle in Wasser-Dampf-Kreisläufen von Druckwasserreaktoren und in Siedewasserreaktoren selten verwendet werden, ist die Basis für statistische Aussagen geringer als bei ferritischen Leitungen. Damit stehen Versagensstatistiken von Rohrleitungen oder Behältern, die ähnlich aussagefähig sind wie Statistiken für ferritische Stähle, in der Regel nicht zur Verfügung.

Für Systemabschnitte, die mit der Hauptkühlmittelleitung verbunden sind, sind die Mischnähte zu dem ferritischen Werkstoff der Hauptkühlmittelleitung gesondert zu bewerten. Dabei sind Nahtaufbau, Schweiß- und Pufferwerkstoffe sowie Plattierung in Verbindung mit der generischen Betriebserfahrung zu berücksichtigen.

Wenn nicht alle für diese Rohrleitungen nachstehend geforderten Eigenschaften erfüllt sind, dann ist wie für den Nennweitenbereich $150 < DN < 250$ vorzugehen.

Für Lecks an Rohrleitungen " $DN \geq 250$, ohne Hauptkühlmittelleitung", die basissicher ausgeführt sind, kann eine wesentlich geringere als die statistisch nachweisbare Häufigkeit angenommen werden. Dies setzt allerdings voraus, dass entsprechend einer Forderung der Rahmenspezifikation Basissicherheit /RSK 79/ eine sorgfältige Analyse der Betriebsbedingungen erfolgt ist. Es muss sichergestellt sein, dass es keine negativen Erfahrungen bei der Herstellung der Schweißnähte gibt (z.B. dass keine Heißrisse entstehen konnten). Wenn keine wesentlichen Wechselbeanspruchungen vorliegen, d.h. die Ermüdungsausnutzung sehr klein bleibt und korrosionsbedingtes schnelles Risswachstum vernachlässigbar ist, kann bezogen auf einen nicht zu großen Systemteil in diesem Nennweitenbereich für den Erwartungswert der Häufigkeit eines Bruches ein Wert $\lambda_B < 10^{-7}/a$ angenommen werden. Bei einem großen System (Zahl der leckrelevanten Stellen > 10) kann mit einer Bruchhäufigkeit von $\lambda_B < 10^{-8}/a$ pro leckrelevanter Stelle gerechnet werden.

Begründung:

Wegen der großen Zähigkeit der verwendeten Stähle ist es extrem unwahrscheinlich, dass ein wanddurchdringender Riss zu einem spontanen Bruch führt. Vielmehr würde zunächst ein Leck entstehen, das über längere Zeiträume stabil bleibt und mit den installierten Leckdetektionssystemen zuverlässig entdeckt wird. Darüber hinaus wird auch die Stabilität von Durchrissen begrenzter Länge bei ungünstigsten Belastungen nachgewiesen.

Im Sinne der hier dargestellten Methodik sind Risswachstumsraten, die zu einer Rissverlängerung von $< 10 \%$ der Wanddicke im Laufe der Nutzungsdauer der Komponente führen, vernachlässigbar.

4.3.3.3 Hauptkühlmittelleitung

Auch die Bruchhäufigkeit von Hauptkühlmittelleitungen ist wesentlich geringer als statistisch nachweisbar. Bezogen auf die gesamte Leitung wird eine Bruchhäufigkeit von $\lambda_B < 10^{-7}/a$ angenommen.

Begründung:

Die Ergebnisse der umfangreichen F&E Programme haben für Rohrleitungen, die entsprechend den Prinzipien der Basissicherheit hergestellt sind und betrieben werden oder für die später Bruchausschlussqualität festgestellt worden ist, große Tragfähigkeitsreserven ausgewiesen. Für das jeweilige System ist nachzuweisen, dass korrosionsbedingtes schnelles Risswachstum nicht auftritt, bzw. vernachlässigbar ist.

Es ist aber darauf hinzuweisen, dass auch bei gegebenem Bruchausschluss für den Nachweis der Leistungs- und Funktionsfähigkeit wesentlicher Sicherheitseinrichtungen weiterhin ein uneingeschränktes bzw. eingeschränktes Bruchpostulat mit einer Bruchquerschnittsfläche von $2 F$, $1 F$ bzw. $0,1 F$ anzusetzen ist (F = Querschnittsfläche der HKL).

Im Sinne der hier dargestellten Methodik sind Risswachstumsraten, die zu einer Rissverlängerung von $< 10 \%$ der Wanddicke im Laufe der Nutzungsdauer der Komponente führen, vernachlässigbar.

Bruchmechanische Überlegungen zu kritischen Rissgrößen zeigen, dass bei den hier betrachteten Rohrleitungen, wenn bei ihrer Belastung nicht Biegemomente dominant sind, nur stabile Lecks mit Querschnitten $A < 0,02 F$ möglich sind.

Für Rohrleitungen $DN \geq 250$ werden jedoch keine Aussagen über die Häufigkeit von Lecks $< 0,02 F$ gemacht, da diese Leckquerschnitte den einfachen ($1 F$) Bruchquerschnitten wesentlich kleinerer, von der betrachteten Rohrleitung abzweigender Rohrleitungen entsprechen, deren Bruchhäufigkeit wesentlich größer ist als die Häufigkeit von Lecks $< 0,02 F$ an der betrachteten Rohrleitung. Somit ist die Häufigkeit dieser Leckquerschnitte i.a. bereits in der Häufigkeit von Brüchen wesentlich kleinerer Nennweiten enthalten.

4.3.4 Beispiel: Berechnung der Häufigkeit eines Bruches im TA-System (Volumenregelsystem) eines DWR

Das im Folgenden dargestellte Beispiel soll die Ausführungen in Kapitel 4 exemplarisch untersetzen und die Vorgehensweise transparenter machen. Für einige Herleitungen, auf die hier verzichtet wurde, wird auf /BEL 95/ verwiesen.

Tabelle 4-4: Repräsentative Einträge in die Liste der Rohrleitungen mit leckrelevanten Stellen an Rohrleitungen im Volumenregelsystem eines DWR (Zusammenfassung siehe Tabelle 4-5)

Bezeichnung der Rohrleitung	Nennweite	Betriebszustand heiß (h) / kalt (k)	leckrelevante Stellen für diese Position
Anbindung an Armatur KBA 31 AA 005	80	k	2
T-Stücke und Stutzen (Nr. 5)	von 80 auf 50	k	1
Rohrreduzierung (Nr. 58)	von 80 auf 50	h	1
Eingeschweißte Stutzen der Temperaturmes- sung (Rohrleitung NW = 80 KBA 41 CT 001)	15	k	1
Anschlüsse an Behälter, Wärmetauscher und Pumpen (KBA 12 BC 002)	80	k	1
Schraubverbindungen und -verschlüsse (SB Nr. 138)	25	h	2
Druckmessung (KBA 32 CP 002)	15	k	1
Vergleichsdruckmes- sung (KBA 11 CF 721)	15	k	2
Durchflussmessung, Messleitungsausgänge (Nr. 110)	15	k	4
Durchflussbegrenzer mit Drosselscheibe	15	k	2

In einem ersten umfangreichen Arbeitsschritt sind die leckrelevanten Stellen in den Anlagen zu ermitteln, die als statistische Gesamtheit angesehen werden. Tabelle 4-4 zeigt für die verschiedenen Komponententypen jeweils einen repräsentativen Eintrag, der die Nennweite, den Betriebszustand (heiß (h) oder kalt (k)) und die Zahl der leckrelevanten Stellen pro Eintrag umfasst.

Tabelle 4-5 stellt für 13 DWR, die in drei Gruppen A, B und C eingeteilt wurden, die entsprechenden Zusammenfassungen dar. Gruppe A umfasst 5 Anlagen, B 7 Anlagen und C wird

durch eine einzige Anlage repräsentiert. Der Umfang der Betriebserfahrung beträgt 99 Jahre (A), 65 Jahre (B) und 27 Jahre (C).

Die in den 13 DWR-Anlagen im Bezugszeitraum beobachteten Leckagen sind Tabelle 4-6 zusammengestellt.

Tabelle 4-5: Anzahl der leckrelevanten Stellen für Rohrleitungen im TA-System für verschiedene Nennweiten in den DWR-Gruppen A, B und C

Nennweite	A kalt	A heiß	B kalt	B heiß	C kalt	C heiß
100	10	7	11	1	-	-
80	50	2	70	36	3	-
50	23	20	36	36	88	30
25	43	15	92	45	33	3
15	62	4	119	20	125	24

Die Bruchhäufigkeit ergibt sich aus der Leckhäufigkeit, die alle Lecks, d.h. auch Brüche, umfasst gemäß Gl. 4-3 zu:

$$\lambda_{B,D} = \lambda_{L,D} \cdot \frac{\lambda_{B,D}}{\lambda_{L,D}} \quad \text{Gl. 4-7}$$

Die Betrachtung wird auf den Nennweitenbereich von 50 bis 100 eingeschränkt. Dort gilt die empirische Beziehung (Gl. 4-2):

$$\frac{\lambda_{B,D}}{\lambda_{L,D}} = \frac{2,5}{DN} \quad \text{Gl. 4-8}$$

Dieses feste Verhältnis der Bruch- zur Leckrate wird als Zufallsvariable aufgefasst, die durch eine Beta-Verteilung 1. Art beschrieben wird /BEL 95/.

Dies ergibt sich aus der Mutmaßlichkeit von y Brüchen auf N_G Lecks (incl. Brüche) in einer fiktiven Bruch-zu-Leck-Statistik /BEL 95/, wobei für die Parameter der β -Verteilung gilt

$$p = y + 0,5 \quad \text{Gl. 4-9}$$

$$q = N_G - y + 0,5$$

Hier wird $N_G=100$ gewählt, um eine größenordnungsmäßig sinnvolle Festlegung zu treffen. Der Mittelwert des Bruch- zu Leckverhältnisses soll gemäß Gl. 4-8 bestimmt sein. Somit folgt:

$$y = 5$$

$$p = 5,5 \quad \text{Gl. 4-10}$$

q = 95,5

Für $\lambda_{L,D}^*$, die Leckhäufigkeit pro leckrelevanter Stelle, wird nach Gl. 4-4 und Gl. 4-5:

$$\lambda_{L,D}^* = \frac{N_L \frac{L_D \cdot D}{t_D^2}}{L_D \sum_{i,j} T_j \left(\frac{L_D \cdot D}{t_D^2} \right)_{i,j}} \quad \text{Gl. 4-11}$$

j = A, B, C Anlagengruppen

i = 1, 2, 3 Index der versch. Nennweiten (50, 80, 100)

T_j = Betriebszeit der Anlagengruppen

L_D = Zahl der leckrelevanten Stellen

D = Nennweite

t_D = Wandstärke

Tabelle 4-6: Beobachtete Lecks in Rohrleitungen der Volumenausgleichssysteme deutscher KKW (Referenzzeit: 191 Jahre)

Nennweite	Anzahl kalt	Anzahl heiß
100	-	-
80	1	-
50	-	2
25	5	1
15	2	-

(3 Lecks in Nennweiten 50, 80, 100 der Anlagen A, B, C)

Im nachstehenden Rechenbeispiel werden die Arbeitsschritte zur Bestimmung der Verteilung der Bruchhäufigkeit der Nennweite 50 in der Anlagengruppe A näher erläutert:

Die Zahl N_L der Leckereignisse im Betrachtungszeitraum T wird ebenso wie L_D im Nenner als Zufallsvariable aufgefasst.

Die Anzahl der leckrelevanten Stellen L_D wird als Lognormalverteilung mit dem Medianwert 43 (geschätzte Zahl der leckrelevanten Stellen in der Nennweite 50 des TA-Systems der Anlagengruppe A) und einem Verhältnis des 95 % Fraktils zum Medianwert von 2 angenommen.

Ausgehend von einer nicht-informativen Prior-Verteilung erhält man unter Berücksichtigung der Zahl der in den Nennweiten 50, 80, 100 in 191 Betriebsjahren aufgetretenen drei Leckagen nach Bayes für $2 \cdot \lambda_{L,D} \cdot T$ eine χ^2 -Verteilung mit dem Parameter $2 \cdot (3+0,5)$. NL wird bestimmt aus:

$$N_L = \lambda_{L,D} \cdot T$$

Gl. 4-12

Mit diesen Annahmen erhält man insgesamt die in Tabelle 4-7 angegebenen Kenngrößen der Verteilung von λ_B^* für den Referenzfall.

Neben dem Referenzfall wurden zwei Vergleichsfälle betrachtet, um die Sensitivität der Ergebnisverteilung gegen Elemente der Vorgehensweise aufzuzeigen, die ingenieurmäßige Einschätzungen darstellen.

Tabelle 4-7: Kenngrößen der Verteilung für die Bruchhäufigkeit pro leckrelevanter Stelle λ_B^* ($\frac{1}{a}$) ($50 \leq DN \leq 100$) im Referenzfall und für zwei Vergleichsfälle

Statistische Kenngrößen für Verteilung λ_B^*	Referenzfall	Vergleichsfall 1 $y = 1 \quad N_G = 20$	Vergleichsfall 2 ohne Annahme einer Verteilung für L_D
$\lambda_{B,5}^*$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
$\lambda_{B,50}^*$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$
$\lambda_{B,95}^*$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Erwartungswert	$1 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$

Referenzfall: Anlangeruppe A, Nennweite 50, $L_{50} = 43$, $K_{95} = 2$, Leckzahl 3, $y/n = 5/100$)

λ_B^* : Bruchhäufigkeit pro leckrelevanter Stelle im TA-System

Vergleichsfall 1 entspricht einer Variation der Parameter y und N_G auf niedrigere Werte. Die Ergebnisse in Tabelle 4-7 zeigen, dass Mittel- und Medianwert nicht sehr stark beeinflusst werden. Die Verteilung wird moderat breiter, was wegen des gegenüber dem Referenzfall verschlechterten "Kenntnisstandes" (Mutmaßlichkeit 1 von 20 an Stelle von 5 von 100) zu erwarten war.

Vergleichsfall 2 betrifft die angesetzte Korrekturverteilung für die Zahl der leckrelevanten Stellen, die in diesem Fall unterdrückt wird. Die Sensitivität ist gering.

Es ist somit dargelegt, dass die getroffenen Einschätzungen keinen dominanten Einfluss auf die Ergebnisverteilung haben.

4.4 LITERATUR

/ABR 84/ M. Abramowitz, I. Stegun:
Pocketbook of Mathematical Functions - Abridged ed. of Handbook of Mathematical Functions
Thun; Frankfurt/Main: Deutsch 1984
ISBN 3-87144-818-4

- /BEC 91/ A. Bechtel, C. Verstegen:
Beschreibung eines Datenerfassungssystems zur Sammlung und Auswertung von Betriebsdaten in Kernkraftwerken,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-1976, Köln, April 1991
- /BEL 90/ S. Beliczey, H. Schulz:
Comments on probabilities of leaks and breaks of safety-related piping in PWR plants,
Int. J. Pres. Ves. & Piping Vol. 43, 1990, pp. 219-227
- /BEL 95/ S. Beliczey:
Grundlegende statistische Methoden,
in: GRS-Fachseminar "Ermittlung der Häufigkeiten von Lecks und Brüchen in druckführenden Systemen für probabilistische Sicherheitsanalysen", Köln, 18.-20. September 1995
- /BIN 95/ K. Bieniussa, H. Schulz, D. Goetsch and J. Jalouneix:
Integrity of the Reactor Coolant Boundary of the European Pressurized Water Reactor - Requirements for the Application of the Break Precluding Concept to the Main Coolant Lines,
Proceedings of the Seminar on Leak-Before-Break in reactor Piping and Vessels, Lyon, France, October 9-11, 1995. NUREG/CP-0155.
- /BMF 90/ Der Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) (Hrsg.):
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B,
Verlag TÜV-Rheinland GmbH, Köln, 1990
ISBN 3-88585-809-6
- /GRS 93/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
SWR Sicherheitsanalyse, Abschlussbericht Teil 1,
Bericht GRS-102/1, Juni 1993
- /GRS 95/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Methoden zur Gewinnung von Verteilungen für Zuverlässigkeitskenngrößen aus Vorinformation und anlagenspezifischer Betriebserfahrung,
Abschlussbericht, GRS-A-2220, Januar 1995
- /GRS 97/ Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH:
Der Superpopulationsansatz zur Ermittlung von Verteilungen für Ausfallraten und Eintrittshäufigkeiten auslösender Ereignisse,
Abschlußbericht Teil 3:
Erweiterung und Nutzen einer generischen Wissensbasis zur Bearbeitung sicherheitstechnischer Fragestellungen bei Kernkraftwerken,
GRS-A-2444, Februar 1997

- /GRS 00/ EU Study Contract B7-5200/97/000782/MAR/C2 of DG XI, Survey of European Leak-Before-Break Procedures and Requirements Related to the Structural Integrity of Nuclear Power Plant Components, Comparative Analyses for Harmonisation Purposes, Survey on European Procedures and Requirements for the Assessments of LWR Components with Respect to Leak-Before-Break, Break Preclusion and Low Probability of Failure. Final Report:
Comparison of National Leak-Before-Break Procedures and Practices -
Summary of Results and Potential for Greater Harmonisation.
Revision 2, April 2000
- /GRS 02/ Promoting Co-operation between the Nuclear Regulatory Authorities of the European Union and their Counterparts in the 'Applicant Countries' of Central and Eastern Europe,
Chapt. 4: Leak-Before-Break (LBB) Methodology,
Final Report, Jan. 2002
- /HOF 99a/ E. Hofer:
On two-stage Bayesian modelling of initiating event frequencies and failure rates,
Technical note,
Reliability Engineering and System Safety 66, 1999, S. 97-99
- /HOF 99b/ E. Hofer; J. Peschke:
Bayesian modelling of failure rates and initiating event frequencies,
Proceedings of the European Conference on Safety and Reliability (ESREL), Munich, Germany, September 13-17, 1999
- /MAR 81/ H. F. Martz, R. A. Waller:
Bayesian Reliability Analysis,
New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1981
- /RSK 79/ 2. Anhang zu den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren (2. Ausgabe vom 24. Jan. 1979) Kapitel 4.2,
Rahmenspezifikation Basissicherheit von druckführenden Komponenten
Stand 25.04.1979
- /RSK 80/ RSK-Leitlinien für Siedewasserreaktoren,
Leitlinienentwurf vom 17.09.1980 (von der RSK nicht verabschiedet)
- /RSK 81/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, Ausgabe 10/1981 /RSK 79/
2. Anhang zu den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren (2. Ausgabe vom 24. Jan. 1979) Kapitel 4.2,
Rahmenspezifikation Basissicherheit von druckführenden Komponenten
Stand 25.04.1979
- /SCH 95/ H. Schulz:
The Evolution of the Break Preclusion Concept for Nuclear Power Plants in Germany,
Proceedings of the Seminar on Leak-Before-Break in reactor Piping and Vessels, Lyon, France, October 9-11, 1995. NUREG/CP-0155.
- /THO 81/ H. M. Thomas:
Pipe and vessel failure probability,
Rel. Engineering 2., (1981), pp. 83-124

5 GENERISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSDATEN

Generische Daten sind Zuverlässigkeitsdaten, die auf Betriebserfahrungen in anderen als der zu untersuchenden Anlage beruhen. Diese Daten werden verwendet, wenn nicht in ausreichendem Umfang anlagenspezifische Betriebserfahrungen vorliegen, bzw. wenn die Komponenten nicht hinreichend lange beobachtet worden sind.

5.1 AUSLÖSENDE EREIGNISSE

Die Ermittlung der Eingangsverteilung auslösender Ereignisse wird für jede Kraftwerksanlage getrennt vorgenommen. Dies ist notwendig, da die einzelnen Kraftwerke unterschiedlich ausgelegt sind. Bei der Verwendung von Daten für auslösende Ereignisse aus anderen Kraftwerken muss im Einzelfall eine ingenieurtechnische Bewertung und ein Vergleich der zu betrachtenden Anlagen, z.B. hinsichtlich Anlagentyp, Betriebsbedingungen, Netzanbindung, Systemtechnik, durchgeführt werden. Die Bewertung aller betrachteten Ereignisse ist nachvollziehbar zu dokumentieren. Danach ist zu prüfen, ob die Transiente, die aus der Betriebserfahrung anderer Kraftwerke abgeleitet wurde, bei der zu untersuchenden Anlage zu vergleichbaren Auswirkungen führen würde.

Die nach der Prüfung verbleibenden Ereignisse werden gemäß der Vorgehensweise in Abschnitt 3.3.1 (Fall 2) in Form einer Verteilung ihrer Eintrittshäufigkeit dargestellt.

5.2 DATEN FÜR KOMPONENTEN

Bei der Verwendung von generischen Daten für Komponenten ist die Übertragbarkeit von anderen Anlagen auf die zu untersuchende Anlage im Hinblick auf

- Ausfallverhalten (vergleichbare Ausfallrate/Nichtverfügbarkeit usw.),
- Komponententyp,
- Konstruktion,
- Hersteller und
- Herstellertyp und Ausführung

im Einzelfall zu überprüfen. Außerdem müssen Betriebs-, Umgebungsbedingungen und unter Umständen Instandhaltungskonzept berücksichtigt werden. Die Vergleichbarkeit der Komponenten muss dokumentiert werden; eine ingenieurtechnische Bewertung der Ähnlichkeit ist vorzulegen.

Wenn Zuverlässigkeitsdaten aus verschiedenen Quellen vorliegen, sollten die Quellen verwendet werden, für die größte Ähnlichkeit in Bezug auf die oben aufgeführten Merkmale zu den Komponenten der zu analysierenden Anlagen vorhanden sind. Die größte Ähnlichkeit ergibt sich in vielen Fällen z.B. für gleiche Komponenten der gleichen Baulinie (z.B. Isoventile der Anlagen der SWR-Baulinie 69 oder Notspeisepumpen der Konvoianlagen).

Die mathematische Behandlung wird in Kapitel 3 (Fälle 2 und 3) dargestellt.

Sie setzt voraus, dass die Betriebserfahrung in Form von Ausfällen pro Zeiteinheit bzw. pro Anforderung vorliegt. Sollte dies nicht zutreffen, so können in begründeten Ausnahmefällen Ausfallraten und Nichtverfügbarkeiten, die nicht nach Ausfällen und Beobachtungszeit spezifiziert sind, benutzt werden. Diese können Grundlagen einer Verteilung sein, die entweder direkt verwendet wird oder als a-priori-Verteilung nach Verarbeitung mit den in /FRÖ 85/ behandelten Methoden in die Analysen eingeht.

5.3 GENERISCHE NICHTVERFÜGBARKEITEN

In /MET 05/ ist dargelegt, welche Modelle zur Quantifizierung von GVA zur Verfügung stehen. Dabei ist insbesondere ausgeführt, wie man mit dem Kopplungsmodell auf der Basis ausgewerteter Betriebserfahrungen quantitativ GVA-bedingte Nichtverfügbarkeiten ermittelt. Diese Darstellung ist durch ein Anwendungsbeispiel untersetzt.

Mit dem Kopplungsmodell wurden für eine Reihe wichtiger Komponenten in deutschen Kernkraftwerken, z.T. für verschiedene Betriebsweisen und Ausfallarten, generische GVA-Wahrscheinlichkeiten ermittelt. Anhang A enthält eine Beschreibung der dabei gewählten Vorgehensweise - u.a. hinsichtlich der ausgewerteten Betriebserfahrung - sowie die für verschiedene Ausfallkombinationen und Fehlerentdeckungszeiten ermittelten GVA-Wahrscheinlichkeiten.

5.4 LITERATUR

- /FRÖ 85/ F. H. Fröhner:
Analytic Bayesian Solution of the Two-Stage Poisson-Type Problem in Probabilistic Risk Analysis,
Risk Analysis, Vol. 5, No. 3, 1985, 217-225
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05

6 DATEN ZUR QUANTIFIZIERUNG DER BRAND-SPEZIFISCHEN EREIGNISABLAUFDIAGRAMME

6.1 EINFÜHRUNG

Die Beschreibung der Methoden zur Durchführung einer probabilistischen Brandschutzanalyse ist in /MET 05/ enthalten. Zur Quantifizierung des dort angegebenen Ereignisbaumes, der anlagenspezifisch an die Rahmenbedingungen der kritischen Brandbereiche anzupassen ist, benötigt man folgende Kenngrößen:

- Brandeintrittshäufigkeiten,
- Nichtverfügbarkeiten der aktiven und passiven Brandschutzeinrichtungen (anlagenspezifische und generische Daten),
- Ausfall bzw. Nichtverfügbarkeiten von Personalhandlungen bei der Brandlöschung.

Grundsätzlich ist die Brandeintrittshäufigkeit auf Basis der Betriebserfahrung zu ermitteln. Dabei sind soweit wie möglich anlagenspezifische Daten zu verwenden. Sofern auf generische Daten und Informationen zurückgegriffen werden muss, ist die Übertragbarkeit dieser Daten auf die anlagenspezifischen Gegebenheiten und Randbedingungen zu prüfen. Abweichungen sind durch ingenieurmäßige Bewertungen zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5) Dies gilt auch für die Daten, die Nichtverfügbarkeiten in Verbindung mit Personalhandlungen beinhalten, z.B. Daten zur Branderkennung und Meldung durch Personen. In Abhängigkeit von den spezifischen Raumgegebenheiten verwendbare generische Daten sind in den nachfolgenden Abschnitten zusammengestellt.

6.2 BRANDEINTRITTSHÄUFIGKEIT

Für die Daten zur Brandeintrittshäufigkeit können die US-amerikanischen Datenbanken Anwendung finden (/PLC 91/, /WHE 86/, /SOH 99/, /EPR 01/ und /NAJ 02/). Die in /PLC 91/ beschriebene Datenbank gilt für einen Zeitraum von 1270 Anlagenbetriebsjahren (480 SWR- und 790 DWR-Anlagenjahre). Für 11 Anlagenbereiche bzw. Brandabschnitte sind die Anzahl der beobachteten Brände während des Leistungsbetriebes und die Brandhäufigkeiten F_f [Brände / Anlagenjahr], aufgeteilt auf die Hauptzündquellen im Brandabschnitt, angegeben (s. Tabelle 6-1 Tabelle 6-1 und Tabelle 6-2). Generell ist die Übertragbarkeit der Eingangsdaten zu überprüfen.

Es gibt Fälle, in denen eine Übertragbarkeit amerikanischer Daten nicht bzw. nicht unmittelbar gegeben ist. In solchen Fällen ist auf andere Methoden, wie z.B. auf die Ermittlung der Entzündungshäufigkeit unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Gegebenheiten, zurückzugreifen.

Um in einem einzelnen Raum eines Brandabschnitts oder -bekämpfungsabschnitts die Brandeintrittshäufigkeit zu ermitteln, ist es notwendig, die Häufigkeitsangaben der Tabelle 6-1 entsprechend umzurechnen. Zunächst wird der Häufigkeitsanteil auf Basis der Hauptzündquellen ermittelt. Dabei wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die in Tabelle 6-1 aufgeführten Anlagenbereiche nicht für mehr als eine Anlage benutzt werden. Bei den aufgeführten Gebäuden "Hilfsanlagegebäude", "Reaktorgebäude" und "Maschinenhaus" wird die für das Gesamtgebäude angegebene Häufigkeit im Verhältnis der Anzahl der Hauptzündquellen auf den interessierenden Raumbereich umgerechnet. Hierzu sind diese Hauptzündquellen sowohl im interessierenden Raumbereich als auch im Gesamtgebäude zu zählen und das Zahlenverhältnis zu berechnen. Für alle mit einem Raumtyp ausgewiesenen Bereiche werden die Häufigkeitsangaben auf die Anzahl

der Räume eines bestimmten Typs anteilig aufgeteilt. Anders ist beim Raumtyp "Notstromdieselraum" vorzugehen.

Wie Tabelle 6-1 zeigt, sind entsprechend der US-amerikanischen Anlagentechnik "E- und Leittechnikschränke (electrical cabinets)" als Hauptzündquelle auch Gebäudeteile wie Reaktorgebäude, Hilfsanlagegebäude etc. zugeordnet. Da im Gegensatz hierzu bei deutscher Anlagentechnik solche Schränke überwiegend im Schaltanlagegebäude aufgestellt sind, sind diese Häufigkeitsanteile insgesamt dem Raumtyp "Schaltanlagenraum" zuzuschlagen.

Die für den interessierenden Brandbereich aus den Hauptzündquellen ermittelten Brandhäufigkeiten addieren sich zur Brandhäufigkeit des Anlagenbereichs.

Zu den aus den Hauptzündquellen errechneten Brandhäufigkeiten sind zusätzlich die aus den sonstigen Zündquellen bzw. Brandlasten nach Tabelle 6-2 sich ergebenden Brandhäufigkeiten zu addieren. Die für einen interessierenden Brandbereich bzw. Brandbekämpfungsabschnitt anzusetzenden additiven Beiträge berechnen sich aus den Häufigkeiten nach Tabelle 6-2, multipliziert mit den in der gleichen Tabelle angegebenen Wichtungsfaktoren. Die Beiträge sind über alle im interessierenden Brandbereich zutreffenden Zündquellen bzw. Brandlasten zu summieren.

Die so ermittelten Brandeintrittshäufigkeiten stellen generische Daten dar, die entsprechend den in /MET 05/ beschriebenen Methoden mit deutschen anlagenspezifischen und ggf. generischen Daten zu überlagern sind.

Ein anderer Ansatz zur Ermittlung der Brandeintrittshäufigkeit analysiert grundsätzlich die Brandmöglichkeiten in allen Räumen /MET 05/. Bei Durchführung entsprechender Detailanalysen werden anlagenspezifische Informationen zu jedem Raum benötigt.

Liegen generische oder anlagenspezifische Häufigkeitswerte für ganze Gebäude oder Raumbereiche vor, kann zur Aufteilung dieser Häufigkeit auf einzelne Räume die Methode von Berry /BER 79/, /TAI 89/ angewandt werden. Sie erlaubt, über die in allen Räumen vorhandenen Brandlasten und Zündquellen Maßzahlen für das Verhältnis der Brandeintrittshäufigkeiten in unterschiedlichen Räumen zu berechnen. Voraussetzung für einen Brand ist der Kontakt zwischen brennbarem Material und Zündquelle. Die erforderlichen Informationen erhält man im Rahmen von Anlagenbegehungen entsprechend dem im Auswahlverfahren beschriebenen Vorgehen bzw. gemäß /MET 05/, die Datenaufnahme erfolgt entsprechend Tabelle 6-3. Zuerst wird der Kennwert A_i zur Charakterisierung der Zündquellen in jedem Raum i des Gebäudes oder Raumbereichs berechnet. Dazu werden Informationen zur Häufigkeit und Dauer der Anwesenheit von Personen (A_{i1}), zum Umfang der mechanischen und elektrischen Komponenten (A_{i2} , A_{i3}) benötigt.

Ist ein Kontakt zwischen Zündquelle und Brandlast vorhanden, erfolgt mit der Wahrscheinlichkeit B_i , die von der Zündtemperatur des brennbaren Materials im Raum i abhängt, eine Entzündung. Der Entstehungsbrand, der mit der Wahrscheinlichkeit C_{i1} bemerkt (durch anwesende Personen) und der Wahrscheinlichkeit C_{i2} gelöscht wird (ohne Verwendung von vor Ort installierter Feuerlöscheinrichtungen) geht bei misslungener Löschung in ein Leitfeuer über. P_i ist eine Maßzahl für das Entstehen dieses Leitfeuers im Raum i (siehe Tabelle 6-3). Dabei ist F_i die Wahrscheinlichkeit, dass das Leitfeuer von selbst verlöscht; dies hängt von der Verteilung der Brandlasten im Raum i ab.

Tabelle 6-1: Brandeintrittshäufigkeiten während des Leistungsbetriebes, zugeordnet zu Hauptzündquellen und Anlagenbereichen

Anlagenbereich	Hauptzündquelle	Anzahl der Brände	Brandhäufigkeit (1, 2) F_f (Brände / a)
Hilfsanlagegebäude (DWR)	E- und Leittechnikschrank	15	$1,9 \cdot 10^{-2}$
	Pumpen	15	$1,9 \cdot 10^{-2}$
Reaktorgebäude (SWR)	E- und Leittechnikschrank	24	$5,0 \cdot 10^{-2}$
	Pumpen	12	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Notstromdieselraum	Notstromdiesel	65	$2,6 \cdot 10^{-2}$
	E- und Leittechnikschrank	6	$2,4 \cdot 10^{-3}$
Schaltanlagenraum	E- und Leittechnikschrank	19	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Batterieraum	Batterien	4	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Warte	E- und Leittechnikschrank	12	$9,5 \cdot 10^{-3}$
Kabelverteilerraum	E- und Leittechnikschrank	4	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Nebenkühlwasserpumpenraum	E- und Leittechnikschrank	3	$2,4 \cdot 10^{-3}$
	Löschpumpen	5	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	Sonstige	4	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Maschinenhaus	T/G Erreger	5	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	T/G Öl	17	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	T/G Wasserstoff	7	$5,5 \cdot 10^{-3}$
	E- und Leittechnikschrank	16	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	Sonstige Pumpen	8	$6,3 \cdot 10^{-3}$
	Hauptspeisewasserpumpen	10	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	Heizkessel	2	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Radioaktiver Abfallbereich	Verschiedene Komponenten	11	$8,7 \cdot 10^{-3}$
Transformatorenfeld (im Freien)	Maschinentransformator	5	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	Eigenbedarfstransformator	2	$1,6 \cdot 10^{-3}$
	Transformator (Sonstige)	19	$1,5 \cdot 10^{-2}$

Tabelle 6-2: Brandeintrittshäufigkeiten während des Leistungsbetriebes, zugeordnet zu sonstigen Zündquellen

Anlagenbereich	Sonstige Zündquellen / Brandlast	Anzuwendender Wichtigkeitsfaktor WF für den Fall	Anzahl der Brände	Brandhäufigkeit (1, 2) F_f (Brände / a)
Gesamtanlage	Brandschutztafeln	A	3	$2,4 \cdot 10^{-3}$
	Rotierende Umformer	A	7	$5,5 \cdot 10^{-3}$
	Nichtqualif. Kabeltrassen	B	8	$6,3 \cdot 10^{-3}$
	Kabelabzweig für qualif. Kabel	B	2	$1,6 \cdot 10^{-3}$
	Kabelabzweig für nichtqualif. Kabel	B	2	$1,6 \cdot 10^{-3}$
	Transformatoren (im Raum)	A	10	$7,9 \cdot 10^{-3}$
	Batterielader	A	5	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	Abgas / H ₂ -Rekombinator	A	41	$8,6 \cdot 10^{-2}$
	Wasserstofftanks	A	4	$3,2 \cdot 10^{-3}$
	Andere H ₂ -Systeme	A	4	$3,2 \cdot 10^{-3}$
	Gasturbinen	A	4	$3,1 \cdot 10^{-2}$ (5)
	Kompressoren	A	6	$4,7 \cdot 10^{-3}$
	Ventilationsuntersysteme	A	12	$9,5 \cdot 10^{-3}$
	Aufzüge	A	8	$6,3 \cdot 10^{-3}$
	Trockner	A	11	$8,7 \cdot 10^{-3}$
	Mobile Zündquellen	D	13	$1,3 \cdot 10^{-3}$ (3, 4)
	Kabelbrände, verursacht durch Schweißen	C	4	$5,1 \cdot 10^{-3}$ (4)
	Brände, verursacht durch Schweißen und Schneiden	C	20	$3,1 \cdot 10^{-2}$ (4)

Erläuterungen zur Tabelle 6-2:

- (1) Häufigkeiten gelten, wenn nicht anders angegeben, pro Reaktorjahr (Datei gilt bis 31.12.1988)
- (2) Häufigkeiten gelten für den Anteil der Zündquellen pro Jahr
- (3) Repräsentiert ein Ereignis; 13 Transientenereignisse sind durch den Wichtungsfaktor berücksichtigt
- (4) Repräsentiert Jahre bei Leistungsbetrieb
- (5) Repräsentiert ca. 130 Gasturbinenbetriebsjahre

Fall A:
$$WF = \frac{\text{Anzahl der Zündquellen im interessierenden Brandbereich}}{\text{Anzahl der Zündquellen in allen Anlagenbereichen}}$$

Fall B:
$$WF = \frac{\text{Gewicht der Kabelisolierung im interessierenden Brandbereich}}{\text{Gewicht der Kabelisolierung in allen Anlagenbereichen}}$$

Ausgeschlossen: Containment und radioaktiver Abfallbereich

Fall C:
$$WF = \frac{1}{\text{Anzahl der relevanten Brandbereiche}}$$

Fall D:
$$WF = \frac{\sum \text{Anzahl der Zündquellen im Brandbereich}}{\text{Anzahl der relevanten Brandbereiche}}$$

Beobachtete Anzahl von Zündquellen bei mobilen Brandlasten:

- 2 Zigarettenrauchen
- 4 Verlängerungskabel
- 3 Heizgerät
- 1 Kerze
- 2 Überhitzen
- 1 Heiße Rohrleitung

Die Summation im Fall D erstreckt sich über alle tatsächlich vorhandenen Zündquellen mobiler Brandlasten .

Tabelle 6-3: Kennwerte im Verfahren von Berry

Beschreibung der Kennwerte		Werte der Kennwerte	
		qualitativ	quantitativ
A_i	Kennwerte zur Charakterisierung der Zündquellen im Raum i;	$A_i = 1 - (1 - A_{i1}) \cdot (1 - A_{i2}) \cdot (1 - A_{i3})$	
A_{i1}	Dauer der Anwesenheit von Personen im Raum i (Personen als Zündquelle)	ständig	0,70
		meistens	0,70
		ein Drittel der Zeit	0,30
		während der Rundgänge	0,20
		selten	0,10
A_{i2}	Umfang der mechanischen Einrichtungen im Raum i	groß	0,50
		mittel	0,30
		gering	0,10
A_{i3}	Umfang der elektrischen Einrichtungen im Raum i	groß	0,30
		mittel	0,10
		gering	0,05
P_i	Kennwerte für das Entstehen eines Leitfeuers im Raum i	$P_i = A_i \cdot B_i \cdot (1 - C_{i1} \cdot C_{i2}) \cdot (1 - F_i)$	
B_i	Entzündungswahrscheinlichkeit	Flammpunkt < 20 °C	1,00
		20 °C < Flammpunkt < 250 °C	0,10
		Flammpunkt > 250 °C	0,01
		andere Fälle	0,01
C_{i1}	Dauer der Anwesenheit von Personen im Raum i (Brandmeldung durch Personen)	ständig	0,99
		meistens	0,95
		ein Drittel der Zeit	0,90
		während der Rundgänge	0,10
		selten	0,00
C_{i2}	Löschwahrscheinlichkeit (ohne Hilfsmittel vor Ort, nur in Abhängigkeit vom Flammpunkt)	Flammpunkt < 20 °C	0,50
		20 °C < Flammpunkt < 250 °C	0,90
		Flammpunkt > 250 °C	0,99
		andere Fälle	0,99
F_i	Verteilung der Brandlasten im Raum (erlischt Feuer von selbst?)	im ganzen Raum verteilt	0,02
		im überwiegenden Teil	0,20
		in der Hälfte des Raumes	0,50
		in einem begrenzten Teil	0,90
		keine Brandlast	0,95

Die Brandeintrittshäufigkeit H_k im Raum k des betrachteten Gebäudes ergibt sich dann zu:

$$H_k = \frac{H \cdot P_k}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad \text{Gl. 6-1}$$

Dabei ist H die Brandeintrittshäufigkeit für das Gebäude. Bei Verwendung des in /MET 05/ beschriebenen kombinierten Auswahlverfahrens wird $H=1$ gesetzt, da nur relative Brandeintrittshäufigkeiten benötigt werden. Die weiteren benötigten Werte zur Berechnung der Häufigkeiten H_k ergeben sich dann aus Tabelle 6-3.

6.3 QUANTIFIZIERUNG DES BRANDSPEZIFISCHEN EREIGNISBAUMES

6.3.1 Brandmeldung

Bei der Brandmeldung wird zwischen früher und später Brandmeldung unterschieden (Verzweigungspunkt M1 und M2 im Ereignisbaum wie in /MET 05/ beschrieben). Unter der frühen Brandmeldung wird die Meldung des Brandes durch automatische Brandmeldeanlagen oder anwesende Personen direkt aus dem betroffenen Raumbereich in der Brandentstehungs- bzw. Brandausbreitungsphase verstanden. Die späte Brandmeldung umfasst die Meldung durch automatische Brandmeldeanlagen oder durch in Nachbarbereichen bzw. Nachbarräumen anwesende bzw. ggf. zu einem späteren Zeitpunkt im Brandbereich eintreffende Personen sowie durch indirekte Hinweise auf der Warte durch Ausfall- und Störsignale aus dem Brandraum und aus angrenzenden Bereichen in der Vollbrandphase.

In der Tabelle 6-4 sind die Nichtverfügbarkeiten pro Anforderung sowohl für die Brandentstehungs- und -ausbreitungsphase als auch für die Vollbrandphase angegeben.

Bei Brandmeldeanlagen mit mehr als einem Melder pro Raum oder Objekt bzw. diversitären Meldern oder Meldeanlagen mit mehr als einer Meldeleitung gelten andere Nichtverfügbarkeiten, die anlagen- (d.h. raum- oder objekt-) bezogen zu ermitteln sind.

Die Zahlenwerte für die frühe und späte Brandmeldung durch anwesende Personen basieren auf US-amerikanischen Daten (s. z.B. /BER 79/). Im Fall der Verfügbarkeit abgesicherter neuerer Daten sind diese zu verwenden.

Zur Früherkennung der Brände sind in den Brandabschnitten, -bekämpfungsabschnitten und Räumen mit erhöhten Brandlasten automatische Brandmelder installiert. Es werden folgende Meldertypen verwendet:

- Ionisationsrauchmelder,
- Optische Rauchmelder,
- Flammenmelder,
- Thermodifferentialmelder.

Manuell zu betätigende Melder (Druckknopfmelder) werden in Rettungswegen, im Bereich von Treppenräumen und Ausgängen grundsätzlich neben Wandhydranten installiert. Für die Betätigung dieser Melder, zusätzlich zur technischen Nichtverfügbarkeit, gelten die Nichtverfügbarkeitsdaten der Brandmeldung durch anwesende Personen.

Darüber hinaus sind in Tabelle 6-4 für Druckknopfmelder, automatische Melder und Brandmeldezentralen die technischen Nichtverfügbarkeiten gemäß /LIN 04/, /RÖW 02/ und /RÖW 97/ aufgeführt.

Tabelle 6-4: Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Branderkennung bzw. -meldung im Anforderungsfall

Branderkennung / -meldung	Nichtverfügbarkeiten pro Anforderung in der	
	Brandentstehungs- und Brandausbreitungsphase	Vollbrandphase
Durch Personen - dauernd - überwiegende Zeit - etwa $\frac{1}{3}$ der Zeit - selten anwesend	$1,0 \cdot 10^{-1}$ $8,0 \cdot 10^{-1}$ $9,9 \cdot 10^{-1}$ 1,0	$1,0 \cdot 10^{-3}$ $2,0 \cdot 10^{-2}$ $2,0 \cdot 10^{-1}$ $5,0 \cdot 10^{-1}$
Automatisch	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-1}$
Indirekt, Stör- und Ausfallsignale	-	$6,0 \cdot 10^{-2}$
Brandmeldezentralen - Meldelinien - Einschübe	$4,0 \cdot 10^{-5} - 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^1)$ $4,3 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ } ^1)$	$4,0 \cdot 10^{-5} - 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^1)$ $4,3 \cdot 10^{-5} - 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ } ^1)$
Automatischer Melder	$3,5 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^1)$	$3,5 \cdot 10^{-5} - 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^1)$
Ionisationsmelder	$5,3 \cdot 10^{-5} - 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^2)$	$5,3 \cdot 10^{-5} - 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^2)$
Optische Melder	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ } ^2)$	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ } ^2)$
Sonstige Melder	$9,8 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^2)$	$9,8 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^2)$
Druckknopfmelder	$3,3 \cdot 10^{-4} - 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^1)$	$3,3 \cdot 10^{-4} - 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ } ^1)$

¹⁾ Technische Nichtverfügbarkeit nach /LIN 04/, /RÖW 02/ und /RÖW 97/

²⁾ Technische Nichtverfügbarkeit nach /LIN 04/ und /RÖW 02/

6.3.2 Raumabschluss

6.3.2.1 Brandschutztüren

Für den Brandverlauf und damit zu erwartende Temperaturen im Brandraum sowie die mögliche Brandausbreitung ist die Stellung der Brandschutztüren im Brandfall (geschlossen oder offen) von entscheidender Bedeutung (Verzweigungspunkt A1 des Ereignisbaums). Brandschutztüren, die ihrer Bauart gemäß selbsttätig schließen, werden unterschieden in solche ohne Festhalteeinrichtung und solche, die im Normalfall über Festhalteeinrichtung (Haltemagnet) offen gehalten werden.

a) Brandschutztür ohne Festhalteeinrichtung

Die Angaben zur Nichtverfügbarkeit (pro Anforderung) für die Funktion "Brandschutztür geschlossen" liegen zwischen 0,05 für Räume, die selten, und maximal 0,1 für Räume, die häufig begangen werden. Dieser Wert stellt eine Einschätzung dar für regelwidriges Festklemmen der Tür durch Betriebspersonal.

b) Brandschutztür im Normalfall offen

Die Nichtverfügbarkeit (pro Anforderung) für die Funktion "Brandschutztür geschlossen" setzt sich zusammen aus der Nichtverfügbarkeit der automatischen Brandmeldeanlage und der Nichtverfügbarkeit der Schließeinrichtung. Die Nichtverfügbarkeit der Schließeinrichtung wird mit 0,01 und die der automatischen Brandmeldeanlage mit 0,02 pro Anforderung (s. Tabelle 6-4) angenommen.

6.3.2.2 Brandschutzklappen

Die Ventilationsbedingungen im Brandfall sowie die Ausbreitungsbedingungen in Richtung Nachbarräume werden unter anderem durch die Stellung der Brandschutzklappen in den Lüftungskanälen während des Brandes bestimmt (Verzweigungspunkt A2 im Ereignisbaum). Zur lüftungstechnischen Trennung eines Brandabschnittes im Brandfall sind im Zuluft- und Abluftkanal Brandschutzklappen vorhanden.

Das Schließen der Brandschutzklappen erfolgt entweder automatisch über Schmelzlotglieder mit einer Ansprechtemperatur von in der Regel 345 K oder manuell vor Ort. Des Weiteren sind automatische Auslösevorrichtungen, gesteuert über Signalleitungen (abgeleitet von der Brandmeldung), im Einsatz.

Die Nichtverfügbarkeiten für die Auslösung der Brandschutzklappen von Hand - bei Berücksichtigung der Stresssituation der ausführenden Personen - liegen zwischen 0,1 und 0,5.

Tabelle 6-5: Wahrscheinlichkeit für das Versagen der passiven Brandschutzmaßnahmen im Anforderungsfall

Raumabschluss	Nichtverfügbarkeit pro Anforderung
Brandschutztür geschlossen	
• ohne Festhaltevorrichtung	$5,0 \cdot 10^{-2} - 1,0 \cdot 10^{-1}$
• mit Festhaltevorrichtung	$3 \cdot 10^{-2} \text{ } ^{1)}$
• nur technische Nichtverfügbarkeiten der Brandschutztüren	$2,5 \cdot 10^{-3} - 5,9 \cdot 10^{-2} \text{ } ^{2)}$
- mit Festhalteeinrichtung	$1,2 \cdot 10^{-4} - 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{2)}$
Brandschutzklappe geschlossen	
• Ausfall von Hand- und Fernauslösung	
- nur technische Nichtverfügbarkeit	$1,2 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{2)}$
- nur technische Nichtverfügbarkeit (elektromagnetisch)	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{2)}$
• Fernauslösung (pneumatisch und elektromagnetisch)	$4,0 \cdot 10^{-2}$
- nur technische Nichtverfügbarkeit	$3,6 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ } ^{2)}$
- nur technische Nichtverfügbarkeit (pneumatisch)	$8,5 \cdot 10^{-4} - 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{2)}$
- nur technische Nichtverfügbarkeit (elektromagnetisch)	$3,6 \cdot 10^{-4} - 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ } ^{2)}$
• Auslösung von Hand	$1,0 \cdot 10^{-1} - 5,0 \cdot 10^{-1}$
- nur technische Nichtverfügbarkeit	$1,5 \cdot 10^{-4} - 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{2)}$

¹⁾ Versagenswahrscheinlichkeit für die Brandmeldung und Festhalteeinrichtung

²⁾ nach /LIN 04/, /RÖW 02/ bzw. /RÖW 97/

Die Daten aus neueren Auswertungen /RÖW 02/ und /RÖW 97/ für die rein technisch bedingte Ausfallhäufigkeit von Brandschutzklappen mit Fernauslösung (elektromagnetische oder auch pneumatische Ansteuerung) – zum einen für den vollständigen Ausfall dieser Klappen, zum anderen nur für den Ausfall der Fernauslösung – sind in Tabelle 6-5 zusammengestellt. Zusätzlich aufgeführt sind die technischen Nichtverfügbarkeiten von Brandschutztüren und Brandschutzklappen nach /RÖW 02/, /RÖW 97/.

6.3.3 Brandbekämpfung

Die Brandbekämpfung gliedert sich in eine frühe und späte Brandbekämpfung.

Die frühe Brandbekämpfung erfolgt durch in der Brandentstehungs- bzw. Brandausbreitungsphase anwesendes Betriebspersonal mittels transportabler Handfeuerlöscher (Verzweigungspunkt L1 im Ereignisbaum) bzw. durch

- automatisches Auslösen stationärer Löschanlagen über die Brandmeldeanlagen,
- manuelles Auslösen einer stationären Löschanlage vor Ort oder fernbedient von der Warte,
- frühen Löscheininsatz durch Löschwasserversorgung über Hydranten.

Letztere 3 Löschmethoden werden als Verzweigungspunkt L2 im Ereignisbaum abgefragt.

Da die Nichtverfügbarkeit der manuellen Brandbekämpfung durch das Betriebspersonal im Wesentlichen durch die Zugänglichkeit des Raumes im Brandfall (Temperatur, Verqualmung) bestimmt wird, werden die in der amerikanischen Literatur /BER 79/ angegebenen Nichtverfügbarkeiten für den Einsatz von Handfeuerlöschern in der Brandentstehungs- / Brandausbreitungsphase hier für die Nichtverfügbarkeit der manuellen Brandbekämpfung zugrunde gelegt (s. Bild 6-1). Weiterhin werden, soweit vorhanden, manuell ausgelöste stationäre Löschanlagen in die Bewertung einbezogen.

Die späte Brandbekämpfung hat entsprechend der Festlegung die Zielsetzung, den Brand auf den betroffenen Raum zu begrenzen und die angrenzenden Räume bzw. Raumbereiche sowie die dort vorhandenen Systeme z.B. durch Kühlung zu schützen (Verzweigungspunkt L3 im Ereignisbaum). Die Begrenzung des Brandes auf den Brandraum sowie der Schutz der Systeme erfolgt durch den Einsatz der Betriebs- bzw. Werksfeuerwehr und, sofern vorhanden, durch den Einsatz von Löscheinrichtungen in den Nachbarräumen.

In Tabelle 6-6 sind die Nichtverfügbarkeiten pro Anforderung für die Brandentstehungs- und -ausbreitungsphase wie auch die Vollbrandphase zusammengestellt. Die Werte für die stationären CO₂-, Inergen- und Sprühwasserlöschanlagen (verschiedene Typen mit Nassalarmventilstationen bzw. Fernschaltventilstationen) und den Wand- und Überflurhydranten stellen reine technische Nichtverfügbarkeitswerte dar; sie beinhalten nur die stochastischen Nichtverfügbarkeiten für z.B. das Versagen der Branddetektoren, des Öffnens der Löschwasserleitung, der Löschwasserpumpen etc., aber keinen Anteil für ein brandbedingtes Versagen, wenn z.B. die Stromversorgung der Öffnungsarmatur oder der Pumpen brandbedingt ausfällt. Dieser Anteil kann nicht generisch ermittelt werden, da er von Anlage zu Anlage verschieden ist. Auch ergeben sich bei anlagenbedingten Besonderheiten (z.B. einer Ringwasserleitung mit mehreren Pumpen) andere Werte.

Ein weiterer Aspekt, der anlagenbedingt zu erfassen ist, stellt die Nichtverfügbarkeit der Personalhandlungen bei den Löschaktionen dar. Die Nichtverfügbarkeit der Personalhandlungen ist der technischen Nichtverfügbarkeit hinzuzuaddieren.

Die technischen Nichtverfügbarkeiten der stationären Löschanlagen sind /RÖW 02/ bzw. /RÖW 97/ entnommen.

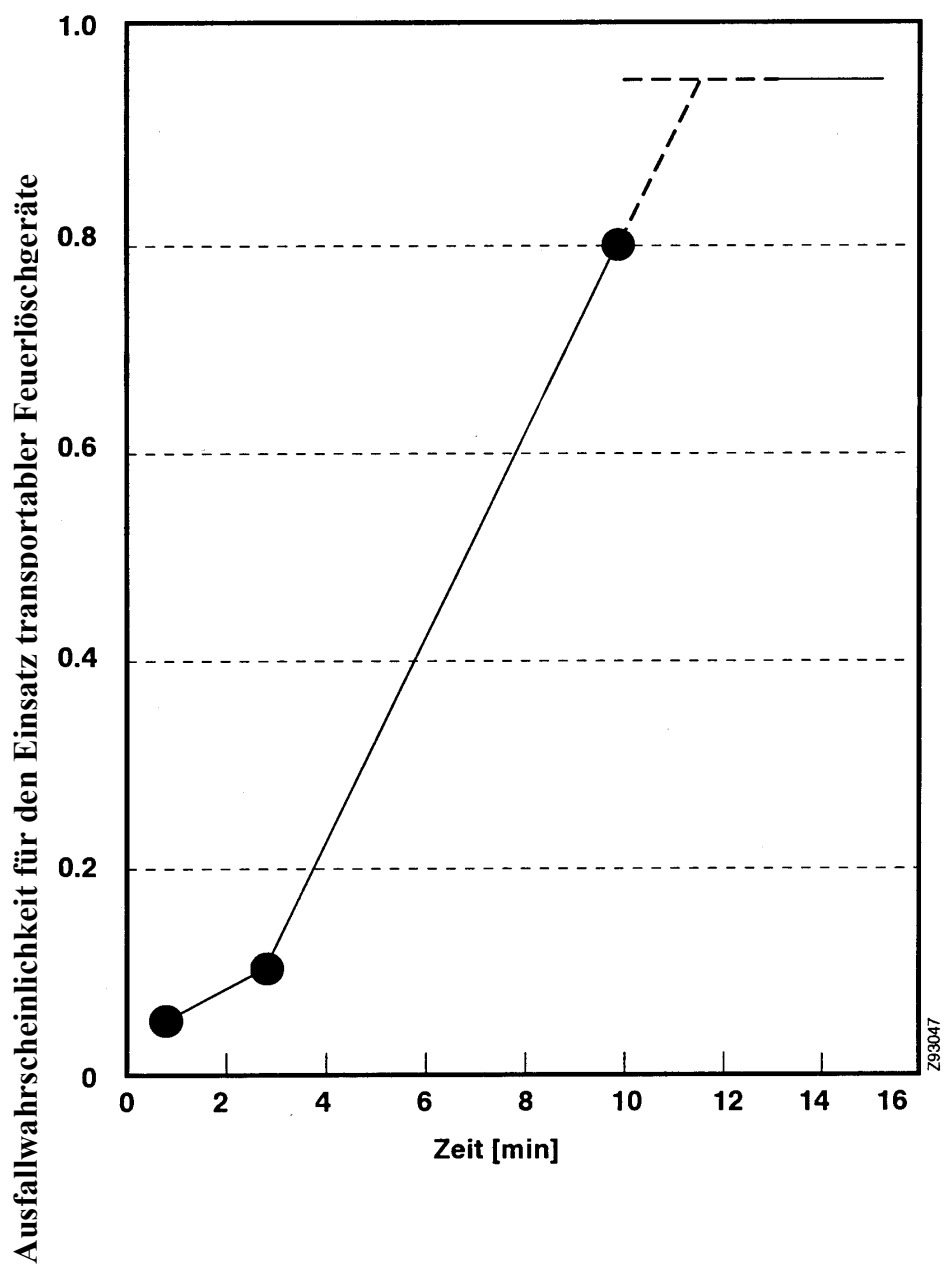


Bild 6-1: Mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit für den Löschерfolg beim Einsatz transportabler Feuerlöschgeräte als Funktion der Zeit zwischen Brandmeldung und Beginn der Löschaktion

Tabelle 6-6: Wahrscheinlichkeit für das Versagen der Brandlöschung im Anforderungsfall

Brandlöschung	Nichtverfügbarkeit/mittlere Ausfallwahrscheinlichkeit pro Anforderung in der	
	Brandentstehungs- und Brandausbreitungsphase (1)	Vollbrandphase (2)
Transportable Feuerlöscher (1) oder Wandhydrant (2) nach		
1 min ¹⁾	$5,0 \cdot 10^{-2}$	
3 min	$1,0 \cdot 10^{-1}$	
5 min	$3,0 \cdot 10^{-1}$	
10 min	$8,0 \cdot 10^{-1}$	
> 10 min	$9,5 \cdot 10^{-1}$	
	$5,0 \cdot 10^{-2 \ 2)}$	-
Stationäre Feuerlöschpumpen	$8,5 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$8,5 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-2 \ 3)}$
Stationäre CO ₂ -Gaslöschanlage	$9,2 \cdot 10^{-3} - 8,1 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$9,2 \cdot 10^{-3} - 8,1 \cdot 10^{-2 \ 3)}$
Stationäre Inergen-Gaslöschanlage	$5,8 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$5,8 \cdot 10^{-2 \ 3)}$
Stationäre Sprühwasserlöschanlage	$2,0 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$2,0 \cdot 10^{-2 \ 3)}$
- mit Fernschaltventilstationen		
• Totalausfall	$2,2 \cdot 10^{-4} - 3,9 \cdot 10^{-3 \ 3)}$	$2,2 \cdot 10^{-4} - 3,9 \cdot 10^{-3 \ 3)}$
• Ausfall Fernauslösung	$2,2 \cdot 10^{-3} - 2,9 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$2,2 \cdot 10^{-3} - 2,9 \cdot 10^{-2 \ 3)}$
- mit Nassalarmventilstationen	$3,2 \cdot 10^{-4 \ 3)}$	$3,2 \cdot 10^{-4 \ 3)}$
Wandhydrant	$1,9 \cdot 10^{-4} - 7,4 \cdot 10^{-3 \ 3)}$	$1,9 \cdot 10^{-4} - 7,4 \cdot 10^{-3 \ 3)}$
Überflurhydrant	$1,9 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-2 \ 3)}$	$1,9 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-2 \ 3)}$

¹⁾ Zeit zwischen automatischer Branderkennung und einsetzender Brandlöschung

²⁾ Personelle Branderkennung und unmittelbare Brandlöschung

³⁾ Technische Nichtverfügbarkeit nach /LIN 04/, /RÖW 02/ bzw. /RÖW 97/;
Nichtverfügbarkeit infolge Personalfehlhandlung ist anlagenspezifisch zu ermitteln

6.3.4 Ausfallraten aktiver Brandschutzeinrichtungen

In einigen Fällen kann es sinnvoll sein, Ausfallraten mit dem entsprechenden Streufaktor zu verwenden. Die Angabe dieser Werte ist auf Grund der vorhandenen Datenbasis nur für bestimmte aktive Brandschutzeinrichtungen möglich, die Daten sind der Tabelle 6-7 zu entnehmen /RÖW 02/.

Tabelle 6-7: Ausfallraten aktiver Brandschutzeinrichtungen

Brandschutzeinrichtungen	Datenquelle	Streu- faktor k	Ausfallrate [1/h] (Erwartungswert)
Brandmeldeeinrichtungen:			
Einschübe/Kerne von Brandmeldezentralen	KKW 1, 3, 4, 5	8,9	$8,8 \cdot 10^{-6}$
Brandmeldelinien/-gruppen	KKW 1 - 5	6,8	$8,4 \cdot 10^{-8}$
Automatische Brandmeldedetektoren	KKW 1 - 5	5,7	$8,5 \cdot 10^{-8}$
- Ionisationsmelder	KKW 1, 2, 5	8,7	$9,5 \cdot 10^{-8}$
- Optische Rauchmelder	KKW 1, 2, 5	23,5	$2,6 \cdot 10^{-7}$
- Sonstige Melder	KKW 1, 2, 5	8,9	$3,7 \cdot 10^{-7}$
Druckknopfmelder	KKW 1 - 5	38,8	$6,2 \cdot 10^{-7}$
Brandschutzklappen:			
- vollständiger Ausfall	KKW 1 - 5	11,8	$1,2 \cdot 10^{-6}$
- Ausfall nur der Fernauslösung	KKW 1, 2, 5	46,0	$8,2 \cdot 10^{-6}$
BSK mit Fernauslösung:			
- elektrisch angesteuert: - Totalausfall	KKW 1 - 4	26,0	$3,3 \cdot 10^{-6}$
- pneumatisch angesteuert: - Totalausfall	KKW 4 - 5	9,0	$2,4 \cdot 10^{-6}$
- Ausfall nur der Fernauslösung	KKW 5	22,5	$5,7 \cdot 10^{-7}$
- BSK ohne Fernauslösung	KKW 4 - 5	11,0	$4,8 \cdot 10^{-7}$
Rauch- und Wärmeabzugseinrichtungen:			
- Rauch und Wärmeabzugsanlagen (RWA)	KKW 3, 4	29,1	$7,4 \cdot 10^{-6}$
- Entrauchungsklappen	KKW 1 - 4	5,5	$3,7 \cdot 10^{-6}$
Brandschutztüren:			
- mit elektr. Festhaltevorrichtung	KKW 1 - 5	7,1	$3,2 \cdot 10^{-6}$
- ohne elektr. Festhaltevorrichtung	KKW 2 - 5	11,9	$2,6 \cdot 10^{-6}$
Gaslöschanlagen:			
CO ₂ -Löschanlagen	KKW 2 - 3	12,8	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Inergen-Löschanlagen	KKW 1	26,8	$1,2 \cdot 10^{-4}$

Brandschutzeinrichtungen	Datenquelle	Streu- faktor k	Ausfallrate [1/h] (Erwartungswert)
<i>Sprühwasserlöschanlagen:</i>			
Fernschaltventilstationen:			
- Totalausfall	KKW 1 - 5	9,6	$1,8 \cdot 10^{-6}$
- Ausfall nur der Fernauslösung	KKW 1 - 5	5,7	$6,2 \cdot 10^{-6}$
Nassalarmventilstationen:			
- Totalausfall	KKW 3	28,4	$6,3 \cdot 10^{-7}$
<i>Löschwasserversorgung:</i>			
Feuerlöschpumpen:			
- Totalausfall	KKW 1 - 5	6,2	$9,9 \cdot 10^{-6}$
- Ausfall nur der Fernauslösung	KKW 1, 4, 5	8,1	$9,6 \cdot 10^{-6}$
Wandhydranten	KKW 1 - 5	7,7	$4,7 \cdot 10^{-7}$
Überflurhydranten	KKW 1 - 5	7,7	$1,3 \cdot 10^{-6}$

6.4 LITERATUR

- /BER 79/ D. L. Berry, E. E. Minor:
Nuclear Power Plant Fire Protection, Fire Hazard Analysis (Subsystems Study Task 4),
NUREG/CR-0654, SAND79-0324, September 1979
- /EPR 01/ Electric Power Research Institute:
Fire Events Database and Generic Ignition Frequency Model for U.S. Nuclear Power
Plants,
EPRI 1003111, November 2001
- /LIN 04/ von Linden, J., W. Klein-Heßling, E. Piljugin, M. Röwekamp, M. Türschmann:
Ausgewählte probabilistische Brandanalysen für den Leistungs- und Nichtleistungs-
betrieb einer Referenzanlage mit Siedewasserreaktor älterer Bauart, GRS-A-3227,
Köln, Oktober 2004
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05
- /PLC 91/ Professional Loss Control, Inc.:
Fire Induced Vulnerability Evaluation Methodology (FIVE), Plant Screening Guide,
EPRI Contract-No. RP 3000-41, 1991
- /NAJ 02/ B. Najafi, R. P. Kassawara, F. Joglar-Billoch, Y. Khalil:
History of Fire Events in the U.S. Commercial Nuclear Industry,
in: Proceedings of ICONE10, Arlington, VA, April 14-18, 2002,
paper ICONE10-22587, ASME, 2002

- /RÖW 97/ M. Röwekamp, T. Riekert, W. Sehrbrock:
Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in deutschen Kernkraftwerken,
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1997-486, 1997
- /RÖW 02/ M. Röwekamp, S. Oltmanns:
Ermittlung kernkraftwerksspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen für Brandschutzeinrichtungen in einem älteren Kernkraftwerk und in einer Konvoi-Anlage,
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2001-573, 2002
- /SOH 99/ W.R. Sohlmann:
Nuclear Power Plant Fire Incident Database,
Nuclear Electric Insurance Ltd. (NEIL),
in: Proc. 3rd Internat. Conf. "Fire & Safety '99", Frankfurt, February 8-10, 1999
published by Nuclear Engineering International/Wilmington Publishing Ltd., 1999
- /TAI 89/ K. Taivainen, R. Himanen, V.-M. Jantunen:
Probabilistic Fire Analysis for TVO Units I and II,
in: Proc. of an Internat. Symposium on Fire Protection and Fire Fighting in Nuclear Installations, IAEA-SM-305/27, Wien 1989
- /WHE 86/ W.T. Wheelis:
Users Guide for a Personal-Computer-Based Nuclear Power Plant Fire Data Base,
SAND86-0300, NUREG/CR-4638,
Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 1986

7 BANDBREITEN FÜR VERZWEIGUNGSWAHRSCHEINLICHKEITEN IM UNFALLABLAUFBAUM

7.1 VORBEMERKUNG

Dieses Kapitel befasst sich mit einigen wesentlichen physikalischen Phänomenen, die im Verlauf eines schweren Unfalls mit Kernschmelzen auftreten und die Wirksamkeit der in der Anlage vorhandenen Barrieren – insbesondere des Sicherheitsbehälters (SHB) - bezüglich der Spaltproduktrückhaltung beeinflussen können. Diese Phänomene sind im Unfallablaufbaum (UAB) durch geeignete Verzweigungswahrscheinlichkeiten zu berücksichtigen. Diese Größen beschreiben in quantitativer Form, dass unter Berücksichtigung der Randbedingungen des entsprechenden Kernschadenszustandes und der vorausgegangenen Ereignisse im Unfallablauf der Ereignisablauf eine bestimmte, für die Klassifizierung in Freisetzungskategorien relevante Wendung, z.B. Versagen des SHB, nimmt. Sie geben hauptsächlich die sich auf durchgeführte Analysen und vorliegende Experimente stützende Meinung des Analysten wider.

Dieses Kapitel gliedert sich in inhaltlich 8 Hauptbereiche, die zu den im Abschnitt 5.3.2 des Methodenbandes /MET 05/ eingeführten Phasen in Beziehung stehen und beschreibt im jeweils ersten Teil kurz die hierzu gehörenden Phänomene – eine ausführlichere Beschreibung findet sich im Abschnitt 5.3.2 in /MET 05/ und der darin zitierten Literatur –, um im zweiten Teil Methoden zur Bestimmung der entsprechenden Verzweigungswahrscheinlichkeiten darzulegen. Gegebenenfalls werden im dritten Teil Rechenbeispiele hierzu angeführt. Im abschließenden vierten Teil werden Empfehlungen zur konkreten Anwendung der zuvor beschriebenen Methoden bzw., wenn möglich, direkt verwendbare Zahlenwerte angegeben. Während die Rechenbeispiele des dritten Teils aus durchgeführten Analysen entnommen wurden und sich naturgemäß auf eine konkrete Anlage beziehen, sind die Empfehlungen des vierten Teils allgemeiner gehalten, d.h. es wird erwähnt, welche Arbeitsschritte zur Ermittlung der Verzweigungswahrscheinlichkeiten generischer, typspezifischer- und anlagenspezifischer Natur sind.

Die Bestimmung von Verzweigungswahrscheinlichkeiten stützt sich zu einem erheblichen Teil auf Analysen des Unfallablaufes mit deterministischen Rechenprogrammen, u.a. mit den in /MET 05/ erwähnten „integrierten Rechenprogrammen“, die für die jeweiligen Kernschadenszustände Schlüsselgrößen, etwa Massen- und Energiefreisetzungen in den SHB, ermitteln. Da nicht für alle Phänomene eine vollständige analytische Behandlung, bzw. im Rahmen einer PSA nur mit unvertretbar hohem Aufwand möglich ist, werden ergänzend andere Quellen herangezogen:

- Experimente zu Teilaspekten eines Kernschmelzablaufs, etwa Dampfexplosion, RDB-Versagen,
- aus Experimenten abgeleitete Kriterien für das Auftreten einzelner Vorgänge, etwa einer schnellen Wasserstoffverbrennung,
- Annahmen aus anderen, mit großem Aufwand durchgeführten generischen PSA der Stufe 2, etwa der deutschen Risikostudie /BMF 90/ oder
- den Arbeiten im Rahmen und im Umfeld des NUREG 1150 /NRC 90/.

Für die Ableitung von Verzweigungswahrscheinlichkeiten aus der Kombination all dieser Informationsbausteine ist die (subjektive) Bewertung eines erfahrenen Analysten erforderlich. Für besonders schwierig zu bewertende Phänomene können dabei die Erfahrungen mehrerer Analysten, etwa im Rahmen eines strukturierten Expert-judgement Verfahrens, verwandt werden.

Die in integrierten, aber auch in mehr „mechanistischen“ Rechenprogrammen eingebauten Modelle zur Beschreibung der Phänomene schwerer Störfälle sind meist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, die sich zum Teil aus einer Vielzahl von nur ungenau bekannten Parametern ergibt, die

der Benutzer festzulegen hat. Außerdem ergibt sich eine Streubreite aus den zu einem Kernschadenzustand zusammengefassten Sequenzen, die sich, etwa in Lecklage, Leckorientierung oder einzelnen Operatormaßnahmen unterscheiden können. Daraus folgt, dass schon die Eingangsdaten zur Ermittlung der entsprechenden Lasten nur als Bandbreite angegeben werden können. Eine generelle Methode, aus vorausgegangenen deterministischen Rechnungen und deren Ergebnissen, nämlich Zeiten, Mengen, und dergleichen, Wahrscheinlichkeiten unter Berücksichtigung der aus den oben erwähnten Unsicherheiten herrührenden Bandbreiten zu ermitteln, besteht in der Anwendung des „Monte-Carlo“-Verfahrens. Dabei werden die für die Verzweigungswahrscheinlichkeiten relevanten unsicheren Größen in einem die Unsicherheiten widerspiegelnden Bereich unter Verwendung von Zufallszahlen variiert. Voraussetzung ist, dass für die unsicheren Parameter eine Wahrscheinlichkeitsverteilung vorliegt bzw. angenommen wird. Mit den so definierten Eingangsgrößen werden die eigentlichen Lastverteilungen unter Verwendung geeigneter Rechenprogramme ermittelt. Dabei können auch die Bandbreiten unsicherer Parameter dieser Programme berücksichtigt werden. Die so ermittelte Lastverteilung gestattet dann eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, dass diese Last abgetragen werden kann.

7.2 DRUCKENTLASTUNG DES REAKTORKÜHLKREISLAUFS

7.2.1 Beschreibung

Kernschmelzabläufe können unter hohem Druck im RDB (Hochdruckfälle) ablaufen. Zur Ermittlung des weiteren Verlaufs sind zunächst mögliche aktive Maßnahmen und passive Vorgänge, die zu einer Druckentlastung (DWR) bzw. Druckbegrenzung (SWR) führen, zu berücksichtigen. Ferner sind die Folgen des Versagens für den weiteren Unfallablauf zu ermitteln.

Die aktive Absenkung des Kühlmitteldruckes über dem Reaktorkern während eines Kernschmelzablaufes – sofern keine andere (z.B. sekundärseitige) Möglichkeit der Druckabsenkung mehr besteht – soll dazu dienen:

- ein Versagen des RDB unter hohem Innendruck zu vermeiden und
- eine Wiederflutung bzw. Wiederkühlung des teilzerstörten Kerns bei verfügbarer Sicherheitseinspeisung zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 7.3).

Da die Druckentlastung manuell vorzunehmen ist, sind zur Bewertung der Erfolgswahrscheinlichkeit der Einleitung dieser Maßnahme die Zeit, die der Operator dafür zur Verfügung hat, und die Stress-Situation zu berücksichtigen.

Passives Versagen von an den RDB angeschlossenen Rohrleitungen (einschließlich der Dampferzeuger-Heizrohre) kann infolge

- der während der Kernzerstörung auftretenden sehr hohen Temperaturen und
- des zugleich sowohl stetig (bei Hochdruckfällen) oder vorübergehend (bei heftigen Vorgängen im RDB) herrschenden hohen Drucks

eintreten.

Die dabei auftretenden Wandtemperaturen hängen ab:

- von den Bedingungen der Konvektion (kaltseitiges Leck oder Gegenströmung im Rohr),
- von der etwaigen Schmelzendispersion,
- vom Kernschmelzablauf.

Durch das Versagen einer Primärkreisleitung kann einerseits ein Hochdruckpfad in einen Niederdruckpfad, eventuell sogar mit Wiederkühlung des Kerns, überführt werden, andererseits kann durch Versagen der Dampferzeugerrohre ein potenzieller Bypasspfad erzeugt werden.

7.2.2 Methoden zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit einer Druckentlastung

7.2.2.1 Methode zur Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeit der primärseitigen Druckentlastung

Für eine Vielzahl von Szenarien ist der Druckverlauf im Primärkreis mit und ohne Druckentlastung zu berechnen. Die Ergebnisse sind anlagenspezifisch (Leistung, Anlagentyp). Zur Ermittlung der Zeitspanne sind Anfangs- und Endzeit zu bestimmen.

Anfangszeit: Zeitpunkt zu dem der Operator wissen müsste, dass eine Druckentlastung möglicherweise einzuleiten ist.

Endzeit: Zeitpunkt zu dem die Druckentlastung spätestens eingeleitet werden muss, um:

- Kernschaden zu vermeiden (Kriterium 923 K Kernaustrittstemperatur oder Beginn der Wasserstoffproduktion),
- ein Versagen des RDB unter hohem Innendruck zu vermeiden (Druck- und Temperatur-Kriterien siehe Abschnitt 7.6).

Die Wahrscheinlichkeit für die erfolgreiche, manuelle Einleitung der Druckentlastung als Funktion der Zeit und für verschiedene Stress-Situationen (z.B. vorausgegangener Operatorfehler) kann mit den Methoden zur Bewertung menschlicher Handlungen (siehe Methodenband Abschnitt 3.4) ermittelt werden.

7.2.2.2 Methode zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit des Primärkreises

7.2.2.2.1 Versagen der Primärkreisleitung

Aus den deterministischen integralen Analysen ist abzulesen, mit welchen Temperaturen der Komponenten vor der Kernumlagerung und zwischen Kernumlagerung und RDB-Bodenversagen zu rechnen ist. Als Resultat sind die Bandbreiten von berechneten Temperaturen für Hochdruck- (> 8 MPa), Mitteldruck- (> 2 MPa) und Niederdruckfälle (< 2 MPa) anzugeben.

Ferner ist aus diesen Analysen der zugehörige quasi-stationäre Druck zu entnehmen und gegebenenfalls um den aus der Schmelze-Wasser-Reaktion stammenden vorübergehenden Druckbeitrag bei der Kernumlagerung zu erhöhen. Dies ergibt eine Bandbreite von Drücken für jeden der drei Druckbereiche.

Für jeden der Druckbereiche ist dann die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass die temperaturabhängige Grenzbelastbarkeit (siehe folgende Arbeitsschritte) der Komponenten überschritten wird.

1. Es werden die Hochtemperatur-Materialkennwerte für das Rohrmaterial benötigt. Experimentell ermittelte Daten für die Festigkeit von Reaktorbaustählen bis 1273 K sind z.B. in /MPa 99/ zu finden.
2. Die mechanische Belastung der Rohrleitungen wird aus dem Innendruck berechnet, indem die Vergleichsspannung aus der Umfangsspannung, der Längsspannung und der mittleren radialen Spannung gebildet wird.

3. Für jede Kombination von Rohrtemperatur und Innendruck lässt sich feststellen, ob die Rohrleitung versagt. Aus den als Bandbreiten vorliegenden Druck- und Temperaturbelastungen sind die Wahrscheinlichkeiten für das Rohrversagen abzuleiten, z.B. im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation. Hierfür ist es erforderlich, Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Druck und Temperatur anzunehmen.

In einigen integralen Rechenprogrammen sind Modelle für die Bestimmung des Versagens in Abhängigkeit von Druck und Temperatur enthalten. Werden diese Modelle direkt benutzt, so ist durch Wahl der Anfangsbedingungen sicherzustellen, dass ein hinreichend breiter Bereich von Druck und Temperatur betrachtet wird, um eine Wahrscheinlichkeitsaussage treffen zu können.

7.2.2.2.2 Versagen der Dampferzeugerheizrohre

Falls Dampferzeugerheizrohre versagen, besteht dort das Potenzial eines „SHB-Bypasses“. Ein temperaturbedingtes Versagen ist nur möglich, falls die Dampferzeuger sekundärseitig nicht mit Wasser gefüllt sind. Die Temperaturen der Dampferzeugerheizrohre sind dabei natürlich etwas niedriger als die der heißen Leitung inklusive des Surgeline-Stutzens.

Der Wärmeeintrag in die Dampferzeugerheizrohre hängt ab:

- vom Ereignisablauf (z.B. bei einem Kühlmittelverlust von der Position des Lecks im heißen oder kalten Strang)
- vom eventuellen Eintrag von Schmelzepartikeln, etwa als Folge einer Schmelze-Wasserwechselwirkung, der zu lokalen Temperaturbelastungen führen kann.

Wärmeeintrag durch die Ablagerungen von Spaltprodukten, etwa durch Trägheitsabscheidung und Umlenkungen, spielt wegen der kurzen relevanten Zeitspanne (maximal bis RDB-Versagen), wahrscheinlich keine wesentliche Rolle und kann vernachlässigt werden.

Das Versagen der Rohre selbst hängt vom Material und möglichen Vorschädigungen ab. Hierbei sind zwei Arten von Schädigung zu betrachten:

- Korrosion während des Betriebs sowie
- Schwingungsschädigungen im Bereich der U-Krümmung.

Außerdem hängt das Versagen der Dampferzeugerrohre ab:

- vom Differenzdruck über die Rohre, also vom sekundärseitigem Druck,
- von der Zeitdauer, während der eine hohe Temperatur ansteht.

7.2.3 Beispiele zur Druckentlastung des RKL

7.2.3.1 Beispiel für Zeitbereiche zur aktiven Druckentlastung

Die Tabelle 7-1 zeigt als Beispiel die Zeit, die der Operator beim EPR zur Druckentlastung zur Verfügung hat, um Kernschaden zu vermeiden:

- Anfangszeit zu ermitteln aus:
Wasserstand Dampferzeuger 3 m (kein Leck) oder Druck im Primärkreis 115,5 MPa (Leck)
- Endzeit zu ermitteln aus:
923 K Kernaustrittstemperatur.

Diese – anlagenspezifisch zu ermittelnden – Zeitbereiche sind mit Einsetzen des Kernschmelzens als bereits abgelaufene Diagnosezeiten zu berücksichtigen.

Die Versagenswahrscheinlichkeit einer Operatormaßnahme als Funktion der zur Verfügung stehenden Zeit kann mit den Methoden zur Bewertung menschlicher Handlungen (siehe Methodenband, Abschnitt 3.4) ermittelt werden.

Tabelle 7-1: Verfügbare Zeit beim EPR in Minuten für die primärseitige Druckentlastung (PDE) zur Vermeidung des RDB-Versagens

Ereignis	Verfügbare Zeit für PDE zur Vermeidung RDB-Versagen [min]				
	5 cm ² Leck	11 cm ² Leck	20 cm ² Leck	46 cm ² Leck	Kein anfängliches Leck
Leck im kalter Strang, kein sekundäseitiges Abfahren	330	110	80	40	-
Leck im heißer Strang, kein sekundäseitiges Abfahren	280	130	70	40	-
Leck im kalter Strang, sekundäseitiges Teil- Abfahren	490	210	120	60	-
Leck im heißer Strang, sekundäseitiges Teil- Abfahren	390	170	100	50	-
Ausfall Speisewasser					60
Ausfall Wärmesenke,					90 *)

*) Signal „DE Wasserstand“ kommt später als bei Ausfall Speisewasser

7.2.3.2 Beispiel für die Versagenswahrscheinlichkeit der Dampferzeugerrohre (EPR)

Die Bild 7-1 zeigt die Versagenstemperatur in Abhängigkeit des Differenzdruckes für verschiedene Zeitbereiche mit und ohne Vorschädigung.

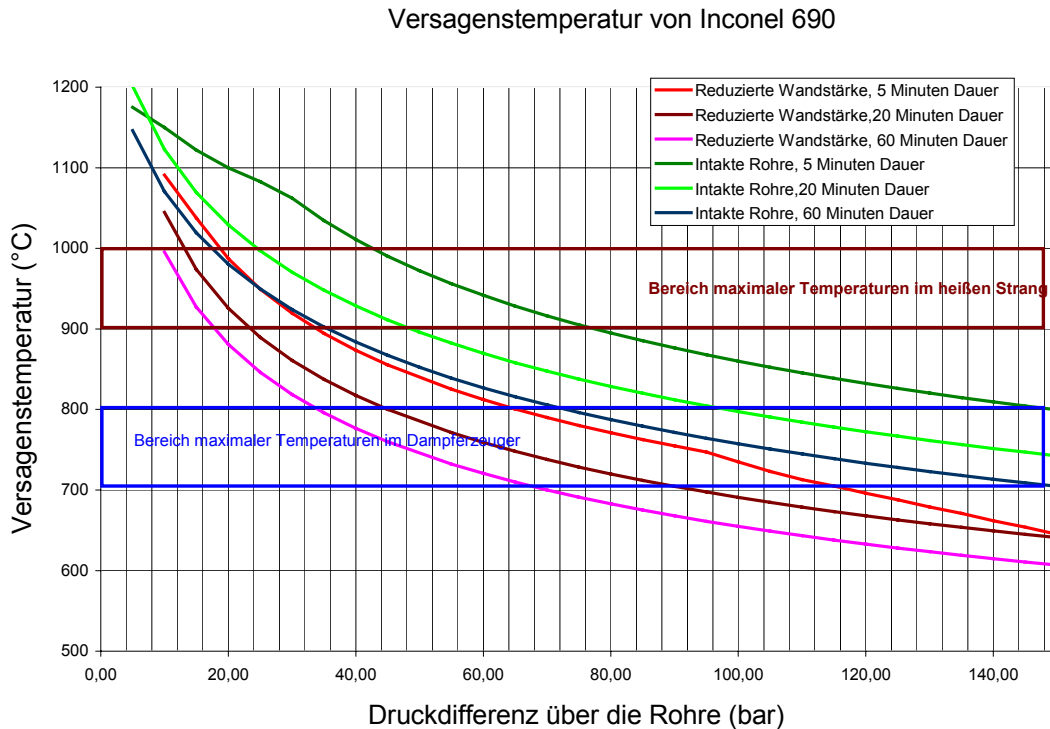


Bild 7-1: Versagenstemperatur von Dampferzeugerheizrohren in Abhängigkeit des Differenzdruckes für verschiedene Zeitbereiche mit und ohne Vorschädigung

Bei Rohrtemperaturen zwischen 973 K und 1173 K ergibt sich bei je nach Leckgröße sich einstellender Druckdifferenz von 5 bis 7 MPa daraus eine hohe Versagenswahrscheinlichkeit für vorgeschädigte Rohre (mechanische Vorschädigung aus DE-Einsatzzeit) und eine deutlich kleinere Versagenswahrscheinlichkeit für intakte Rohre. Dies wird für vorgeschädigte Rohre subjektiv als eine Versagenswahrscheinlichkeit von 50 % interpretiert. Umgekehrt liegt im Falle intakter Rohre nur ein marginales Überlappen der entsprechenden Kurven mit dem Versagenstemperaturbereich vor. Dies wird als eine um den Faktor 10 geringere (0,05) Versagenswahrscheinlichkeit für die 50 % Fraktile interpretiert. Es ist basierend darauf praktisch unmöglich, detailliertere Angaben zu einer möglichen Wahrscheinlichkeitsverteilung zu machen. Im Rahmen einer Unsicherheitsanalyse sollte eine breite Verteilung angenommen werden: Faktor 5 geringer (0,01) für die 5 % Fraktile, Faktor 10 höher (0,5) für die 95 % Fraktile. Für die Verteilung selbst kann eine einfache Dreiecksverteilung angenommen werden.

Das Ergebnis kann für diesen Temperaturbereich im Rahmen der Genauigkeit als generisch betrachtet werden. Die Bestimmung der Temperatur der Heizrohre hat hingegen im Rahmen der anlagen- und unfallspezifischen Analysen zu erfolgen.

Im Falle des temperaturinduzierten Versagens der Primärkreisleitung kommt es nicht zum Versagen der Dampferzeugerrohre. Am RDB-Stutzen der heißen Leitung sind die Temperaturen um etwa 473 K höher als im Dampferzeuger (siehe Abschnitt 7.2.3.3 für eine ausführliche Diskussion des Primärkreisversagens). Außerdem können höhere Differenzdrücke auftreten (im Dampferzeuger können sekundärseitig noch maximal etwa 8 MPa herrschen). Daher sollte für die

Wahrscheinlichkeit des Versagens der heißen Leitung am RDB Stutzen oder am Surge-line Stutzen eine höhere Wahrscheinlichkeit (Faktor 10 für die 50 %-Fraktile) angesetzt werden:

5 % Fraktile:	0,1
50 % Fraktile:	0,5
95 % Fraktile:	0,9.

7.2.3.3 Beispiel für Versagen der heißen Primärkreisleitungen

In /LOE 00/ wird der Temperaturverlauf der heißen Kühlmittleitung (Konvoi-Anlage) diskutiert. Es ergibt sich ein Unsicherheitsband der Temperatur bei der Kernumlagerung in das untere Plenum zwischen 1050 K und 1350 K (Gleichverteilung). Der Hauptbeitrag der Bandbreite resultiert aus Unsicherheiten über den Kernschmelzablauf.

Die Versagenstemperatur der Kühlmittleitung bei Betriebsdruck wurde zu 1093 K bis 1118 K bestimmt (Gleichverteilung), die der Volumenausgleichsleitung um 1253 K. Die Kühlmittleitung versagt daher mit Sicherheit zuerst, eine Bandbreite für die Volumenausgleichsleitung war daher nicht erforderlich.

Die Überlagerung von Temperaturen und Grenzbelastbarkeit ergab folgende mittlere Wahrscheinlichkeiten für das Versagen und somit für einen Druckabfall /GRS 01/:

- 0,14 für Hochdruck-Kernschadenzustände, bevor das Kernmaterial in das untere Plenum des RDB umgelagert wird;
- 0,24 für Druckabfall zwischen Kernumlagerung und RDB-Versagen, wenn bei der Kernumlagerung Hochdruck herrscht.

Die Verteilungen um diese Mittelwerte wurden in einer Monte-Carlo-Simulation behandelt, jedoch ist dieses Teilergebnis in der Analyse nicht separat ausgewiesen worden.

7.2.4 Empfehlung

Die Zeitbereiche für die manuelle Einleitung der Druckentlastung des Reaktorkühlkreislaufs sind anlagenspezifisch unter Berücksichtigung der Kriterien aus dem Abschnitt 7.2.2.1 und Abschnitt 7.6 zu ermitteln. Die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche aktive Druckentlastung kann mit den Methoden zur Bewertung menschlicher Handlungen (siehe Methodenband Abschnitt 3.4) ermittelt werden.

Da Druck- und Temperaturverläufe anlagenspezifisch sind, muss die Bewertung des Primärkreisversagens auf entsprechenden deterministischen Rechnungen beruhen. Sind in diesen Rechenprogrammen Modelle zum Kriechversagen der Rohrleitungen enthalten, so können diese im Rahmen der PSA verwandt werden. Ist in diesen Rechenprogrammen kein Versagensmodell enthalten, so kann basierend auf den ermittelten Druck- und Temperaturverläufen, mittels materialspezifischer Korrelationen (ähnlich denen der Bild 7-1) die Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt werden. In jedem Falle ist ein hinreichender, sowohl die Modellunsicherheiten als auch die aus den Unfallabläufen herrührenden Unsicherheiten abdeckender Bereich für Druck- und Temperaturverläufe heranzuziehen.

7.3 RÜCKHALTUNG EINES TEILZERSTÖRTEN KERNS IN KÜHLBARER KONFIGURATION

7.3.1 Beschreibung

Beginnt die Bespeisung des (teil-) zerstörten Reaktorkernes hinreichend lange vor dem RDB-Versagen, besteht die Möglichkeit, ein Versagen des RDB zu verhindern und das Kernmaterial im RDB zurückzuhalten. Im vorliegenden Abschnitt wird zunächst beschrieben, wie die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln ist, dass Bespeisungssysteme ab einem bestimmten Zeitpunkt (wieder) funktionsfähig sind.

Falls der Kernzerstörungsvorgang schon weit fortgeschritten ist, kann auch eine Bespeisung den weiteren Zerstörungsprozess und eine Umlagerung von Kernmaterial in das untere Plenum nicht mehr aufhalten. Die Bewertung der Rückhaltungsmöglichkeit ist mit großen Unsicherheiten behaftet, weil die verfügbaren Analyseprogramme die Vorgänge bei fortgeschrittener Kernzerstörung nur ungenau abbilden, zumal auch nicht nur der Anteil der Kernzerstörung sondern auch die Konfiguration des Kernmaterials von Bedeutung ist. Es wird eine Anleitung gegeben, wie die Wahrscheinlichkeit für die Rückhaltung ermittelt werden kann.

Die Funktionsfähigkeit der RDB-Bespeisungssysteme ist eines der Merkmale der Kernschadenszustände und die Wahrscheinlichkeit dafür wird im Rahmen der PSA der Stufe 1 mit den dort verfügbaren Methoden ermittelt.

Eine verspätete Einspeisung kann in der Regel das RDB-Versagen nicht mehr verhindern, hat aber möglicherweise Einfluss auf die ex-vessel Phase (Druckaufbau im Sicherheitsbehälter, Kühlbarkeit der Kernschmelze).

7.3.2 Methode zur Ermittlung der Verzweigungswahrscheinlichkeit zur Kernrückhaltung

Die Versagenswahrscheinlichkeiten für jedes Bespeisungssystem werden in den Analysen der Stufe 1 der PSA ermittelt. Diese Information muss bei getrennten Rechenprogrammen für die Stufen 1 und 2 ein expliziter Bestandteil der Merkmale der Kernschadenszustände sein. Bei einem einheitlichen Rechenprogramm können diese Informationen implizit verarbeitet werden, ohne sie speziell auszuweisen.

Nach dem Beginn des Sumpf-Umwälzbetriebs werden die Bespeisungssysteme mit hoch kontaminiertem und möglicherweise auslegungsüberschreitend erhitztem Wasser beaufschlagt. Es ist zu prüfen, ob die in der Stufe 1 ermittelten Versagenswahrscheinlichkeiten unter diesen Bedingungen übertragbar sind.

Es ist die Wahrscheinlichkeit dafür zu ermitteln, dass nach einem Bespeisungsbeginn der teilzerstörte Reaktorkern im Kernbereich dauerhaft zurückgehalten werden kann.

Grundsätzlich ist die Wahrscheinlichkeit für eine Rückhaltung hoch, wenn die Bespeisung bei noch geringem Zerstörungsgrad beginnt, und sie ist niedrig, wenn die Kernzerstörung bei Bespeisungsbeginn weit fortgeschritten ist.

Als Maß für die Kernzerstörung ist der Anteil des Brennstoffs an der Gesamt-Brennstoffmasse geeignet, der nicht mehr in der ursprünglichen Tablettenform vorliegt.

Es ist eine Abhängigkeit zwischen dem Grad der Kernzerstörung beim Bespeisungsbeginn und der Wahrscheinlichkeit für die Rückhaltung zu ermitteln. Dies geschieht in folgenden Schritten:

1. Aus den vorliegenden deterministischen Analysen ist zu ermitteln, mit welchem zeitlichen Gradienten die Kernzerstörung (in ihrer obigen Definition) abläuft. Dieser Gradient kann für unterschiedliche Arten von Unfallabläufen verschieden sein.
2. Es ist zu ermitteln, wann die Bespeisung beginnt (siehe auch Abschnitt 7.2).
3. Die Möglichkeit für die Rückhaltung im Kernbereich in Abhängigkeit vom Kernzerstörungsgrad beim Bespeisungsbeginn kann aus einschlägigen deterministischen Rechnungen, oder, im Falle eines DWRs, direkt aus Bild 7-2 abgeleitet werden.

7.3.3 Beispiel für Konvoi

Die Bild 7-2 zeigt die Wahrscheinlichkeit einen teilzerstörten Kern wiederzukühlen in Abhängigkeit des Zerstörungsgrades am Beispiel Konvoi (vgl. /LOE 00/, Abschnitt 4.2).

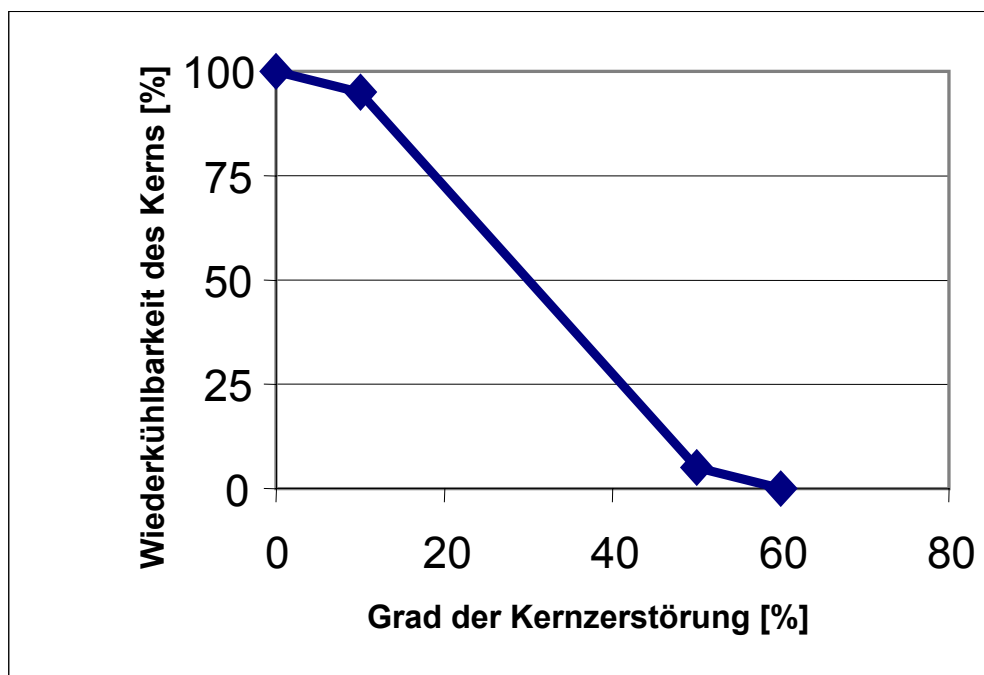


Bild 7-2: Wahrscheinlichkeit der Wiederkühlbarkeit eines teilzerstörten Kerns in Abhängigkeit des Zerstörungsgrades des Kerns beim Bespeisungsbeginn

7.3.4 Empfehlung

Das Ergebnis des Bild 7-2 kann im Rahmen der inhärenten Unsicherheiten generisch für alle DWR benutzt werden. Für SWR ist eine entsprechende Korrelation zu generieren.

Eine vereinfachende Interpretation des Bild 7-2 kann für beide Anlagentypen dahingehend vorgenommen werden, dass:

- eine Vermeidung des RDB-Versagens unter Schmelzeinfluss mit einer Wahrscheinlichkeit 1 anzunehmen ist, falls eine Druckentlastung und eine aktive Sicherheitseinspeisung eintreten, bevor eine 20 %-ige Kernzerstörung überschritten ist,
- ein RDB-Versagen anzunehmen ist, falls eine Druckentlastung später (Kernzerstörung > 20 %) erfolgt, auch wenn eine Sicherheitseinspeisung dann wieder verfügbar ist.

Dies trägt dann auch der Erkenntnis aus dem TMI-2 Ereignis Rechnung, bei dem etwa 20 % Kernzerstörung ohne RDB-Versagen aufgetreten ist.

7.4 SCHMELZE-WASSER-WECHSELWIRKUNG

7.4.1 Beschreibung

Bei der Kernumlagerung in das untere Plenum ist der Wasserstand dort meist noch in der Nähe der Kerngitterplatte. Folglich gelangt das heiße Kernmaterial in eine Wasservorlage. Dabei wird u.a. Wasser verdampfen und der Druck ansteigen. Dieser Vorgang kann unenergetisch ablaufen, es ist jedoch auch theoretisch möglich, dass er explosionsartig verläuft (Dampfexplosion) und gravierende Schäden verursacht. Für den Unfallablauf sind folgende Arten von Schäden zu unterscheiden und ihre Wahrscheinlichkeiten sind zu ermitteln:

- Abriss des RDB-Deckels mit nachfolgender Beschädigung des SHB („alpha-mode Versagen“),
- Leck oder Bruch am unteren wasserbenetzten Teil des RDB,
- Leck oder Bruch an einer temperaturmäßig vorbelasteten Komponente des Reaktorkühlkreislaufts mit nachfolgender Belastung des SHB (nur für Hochdruckfälle von Bedeutung).

Dampfexplosion im Reaktordruckbehälter wurde über viele Jahrzehnte hin als einer der wichtigsten Beiträge zum frühen Versagen des SHB angesehen und daher wurden umfangreiche Experimente an mehreren Institutionen durchgeführt. Basierend auf diesen Arbeiten wird heute allgemein angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit eines alpha-mode-Sicherheitsbehälterversagens (durch Aufprall des RDB Deckels) auf Grund einer Dampfexplosion als recht gering anzusehen ist. Insbesondere kann aus vielen Experimenten mit realem Material (UO_2 statt Thermit, das in den meisten Experimenten verwandt wurde), wie sie etwa an der FARO Anlage in Ispra durchgeführt worden sind, geschlossen werden, dass eine heftige Dampfexplosion nur bei starkem externen (d.h. experimentell absichtlich ausgelöstem) Trigger, der im Unfallablauf in dieser Intensität eher nicht anzunehmen ist, auftreten kann /MAG 01/.

7.4.2 Methode zur Wahrscheinlichkeitsermittlung der Folgen einer Dampfexplosion

In der letzten Zeit wurden umfangreiche Arbeiten zum Komplex der Dampfexplosion z.B. im FZK durchgeführt /STR 99/. Von der GRS wurde im Rahmen einer PSA der Stufe 2 für eine Konvoi-Anlage ein einfaches Dampfexplosions-Rechenmodell entwickelt /LOE 00/. Beide Ansätze erlauben eine Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit eines Sicherheitsbehälterversagens auf Grund einer Dampfexplosion. Dabei werden mögliche Lasten aus der Dampfexplosion mit der Lastabtragfähigkeit des RDB verglichen. Beide Methoden sind ähnlich, und sie werden nachfolgend zusammenfassend beschrieben.

Das generelle Vorgehen geschieht in folgenden Schritten:

1. Ermittlung der Schmelzemasse (bzw. der darin enthaltenen thermischen Energie), die mit Wasser wechselwirken kann. Hierfür kommt z.B. bei der FZK ein entsprechendes Rechenprogramm zum Einsatz. Bei der GRS wird aus dem Kernschmelzablauf (aus Experimenten und mit integralen Rechenprogrammen bestimmt) eine Absturzrate in das untere Plenum geschätzt. Aus der Dauer der Reaktionsfähigkeit einzelner Schmelzepartikel und dem Zeitverzug bis zur Auslösung der Dampfexplosion ergibt sich die reaktionsfähige Schmelzemasse, etwa durch die derzeit bei FZK durchgeführten ECO-Experimente.

2. Ermittlung der mechanischen Energie des Explosionsprozesses, die sich mittels sogenannter Konversionsfaktoren aus der thermischen Energie ableiten lässt. Diese Konversionsfaktoren werden aus den zahlreichen einschlägigen Experimenten abgeleitet, die weltweit durchgeführt wurden.
3. Vergleich der mechanischen Energie des Explosionsprozesses mit der Grenztragfähigkeit des RDB-Deckels. Die Grenztragfähigkeit wird aus einschlägigen Experimenten („BERDA“) am FZK ermittelt. Dabei erfolgte die Energieübertragung an den RDB-Deckel über einen nach oben beschleunigten Flüssigkeits-Pfropfen. Da viele Experimente unter unterschiedlicher Berücksichtigung der RDB-Einbauten durchgeführt worden sind, können die Experimente für verschiedene Anlagen herangezogen werden.

7.4.3 Beispiele

7.4.3.1 Beispiel für den EPR

1. Es wird die maximale Menge der Schmelze abgeschätzt, die im unteren Plenum des RDB instantan mit Wasser wechselwirken kann. Basis hierfür sind Rechnungen zur Vorfragmentierung, die mit den FZK Programmen MATTINA/MC3D durchgeführt worden sind. Diese Programme sind an FZK Experimenten zur Vorfragmentierung, den QUEOS-Experimenten validiert. Daraus ergibt sich, basierend auf einem Kern von 110 Mg, eine maximale Menge von 2,3 Mg, entsprechend einem Energieinhalt (Erstarrungsenthalpie) von 3 GJ. Die vorgeschlagene Massenverteilung liegt zwischen 0,4 und 1,5 Mg, entsprechend 0,5 und 2 GJ. Aus der so abgeschätzten Energiemenge lässt sich der Druckaufbau durch Dampfproduktion im RKL abschätzen, der relevant wird, wenn der nachfolgend beschriebene mechanische Energieeintrag nicht zum RDB-Versagen führt.

Um Bewertungsunsicherheiten abzudecken, wurden folgende Energieverteilungen geschätzt:

untere Verteilung:	50 % unter 0,5 GJ, 10 % oberhalb 2 GJ
best estimate:	20 % unterhalb 0,5 GJ, 20 % oberhalb 2 GJ
obere Verteilung:	10 % unter 0,5 GJ, 40 % oberhalb 2 GJ.

Die untere Verteilung (geringer Energieeintrag) kann zur Bildung der 5 % Fraktile, die obere zur Bildung der 95 % Fraktile herangezogen werden.

2. Die Konversion der thermischen Energie in mechanische (kinetische) Energie kann basierend auf den ECO-Experimenten des FZK abgeschätzt werden. In den meisten Experimenten wurde ein Konversionsfaktor kleiner 1 % gemessen; in einigen Experimenten mit künstlich produzierten „multiple jets“ wurden bis zu 3 % gemessen, vgl. /CHE 01/, /CHE 02/, /CHE 03/. In der Literatur gibt es gemessene Werte von maximal 15 % /CHE 03/.

Um Bewertungsunsicherheiten abzudecken, wurden folgende Konversionsverteilungen geschätzt:

untere Verteilung (5 % Fraktile): 80 % kleiner 1 %,
20 % zwischen 1 % und 3 %

best estimate: 80 % kleiner 1 %,
10 % zwischen 1 % und 3 %,
10 % zwischen 3 % und 15 %

obere Verteilung (95 % Fraktile): 80 % kleiner 1 %,
10 % zwischen 1 % und 3 %,
10 % zwischen 3 % und 30 %.

Die untere Verteilung (geringe Konversionsrate) kann zur Bildung der 5 % Fraktile, die obere zur Bildung der 95 % Fraktile herangezogen werden.

3. Um die maximale kinetische Energie zu bestimmen, die vom RDB abgetragen werden kann, wurden am FZK die BERDA-Experimente durchgeführt. Dabei wird eine nach oben beschleunigte kohärente Flüssigkeit (Flüssigkeitspfropfen) angenommen. Die bisher durchgeführten Experimente wurden ergänzt durch theoretische Überlegungen zum Energieeintrag nach unten und zur Seite. Diese Untersuchungen sind in einer Matrix zusammengefasst /KRI 00/ mit der radialen Expansion als einen der Parameter.

Um Bewertungsunsicherheiten über die Art des Expansionsvorganges abzudecken, wurden folgende Verteilungen geschätzt:

untere Verteilung (5 % Fraktile): 25 % geringe,
50 % mittlere und
25 % große radiale Expansion

best estimate: 50 % geringe,
25 % mittlere und
25 % große radiale Expansion

obere Verteilung (95 % Fraktile): 60 % geringe,
40 % mittlere Expansion

Die untere Verteilung (hohe radiale Expansion) kann zur Bildung der 5 % Fraktile, die obere zur Bildung der 95 % Fraktile herangezogen werden.

In der jeweiligen Expansionsklasse wird noch hinsichtlich der Grenztragfähigkeit des RDB und der oberen Einbauten unterschieden:

geringe radiale Expansion: 0,2 bis 2,8 GJ

mittlere radiale Expansion: 0,6 bis 4,8 GJ

große radiale Expansion: 0,8 bis 7 GJ.

Die Bild 7-3 zeigt die hier gewählten kumulativen und diskreten Verteilungsfunktionen.

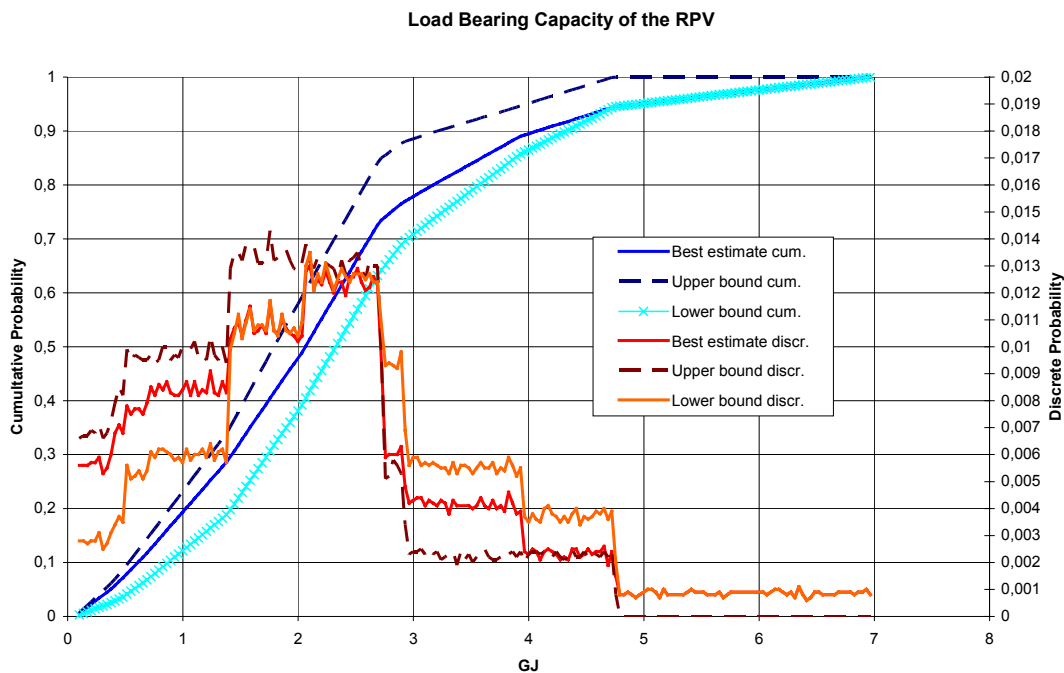


Bild 7-3: Kumulative und diskrete Verteilungsfunktionen der RDB Lastabtragung

Mit diesen Annahmen und unter zu Hilfenahme eines Monte-Carlo-Programms ergeben sich folgende Wahrscheinlichkeiten für das Versagen des RDB-Deckels (für welches dann konservativerweise auch ein Versagen des SHB angenommen wird):

best estimate: $6,0 \cdot 10^{-5}$

untere Grenze: $2,1 \cdot 10^{-6}$

obere Grenze: $8,8 \cdot 10^{-4}$

pro Kernschmelzereignis mit Absturz des Kerns in das untere Plenum.

Die beschriebenen Überlegungen gelten streng genommen nur für den EPR: die hier herangezogenen BERDA-Experimente wurden für einen skalierten EPR-RDB durchgeführt, und den Überlegungen zur radialen Expansion sind typische EPR Eigenschaften (z.B. große Eisenstrukturen um den Kernmantel „heavy reflector“) zugrunde gelegt. Jedoch geben die oben angegebenen Werte mit ihrer großen Bandbreite auch Anhaltswerte für andere Anlagen. Unter Weglassung des EPR-spezifischen „heavy reflectors“ ergibt sich im wesentlichen eine breitere Verteilung:

best estimate: $6,8 \cdot 10^{-5}$

untere Grenze: $1,2 \cdot 10^{-5}$

obere Grenze: $1,6 \cdot 10^{-3}$.

Diese Abschätzungen sind in Übereinstimmung mit Expertenschätzungen, die im Nachgang zum NUREG 1150 /NRC 90/ durchgeführt worden sind /BAS 96/.

7.4.3.2 Beispiel für eine Konvoi-Anlage

In /LOE 00/ wird ein einfaches Dampfexplosions-Rechenmodell und seine für eine Konvoi-Anlage geltende Anwendung beschrieben.

1. Ermittlung der reaktionsfähigen Schmelzemasse im unteren Plenum:

Die Bewertung des Umlagerungsvorganges in das untere Plenum und der sich daraus ergebenden reaktionsfähigen Schmelzemasse ist mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet. Eine kontinuierliche Kernmaterialumlagerung analog zur kontinuierlichen Kernzerstörung ist nicht zu erwarten. Vielmehr wird der Umlagerungsvorgang zeitweise durch Krustenbildung aufgehalten und setzt nach Zerstörung der Krusten verstärkt wieder ein (vgl. TMI-2 Ereignis). Eine Variabilität des Schmelzestroms von wenigen kg/s bis zu 18750 kg/s ist zu unterstellen. Ferner ist damit zu rechnen, dass sich das umlagernde Material bis zu einer Zeitdauer von 12 s (Hochdruckfall) bzw. 2 s (Niederdruckfall) ansammelt, bevor die Dampfexplosion ausgelöst wird. Die Zeitdauer der Reaktionsfähigkeit der Schmelzepartikel im unteren Plenum ergibt sich aus einem einfachen Rechenmodell für das Aufbrechen von Schmelzestrahlen und der Partikelgröße. Alle Bandbreiten der in die Rechenmodelle eingehenden unsicheren Parameter wurden mittels Expertenbefragung ermittelt.

2. Ermittlung des isentropen Arbeitspotenzials der Schmelze-Wasser-Reaktion bei einer theoretischen Expansion des Reaktionsgebietes auf 0,1 MPa:

Hier ist ein Wert von etwa 600 bis zu 840 J/g Schmelze anzusetzen, der sich aus thermodynamischen Grundlagen ergibt.

3. Ermittlung des realen Arbeitspotenzials:

Es beträgt 5 % bis 40 % des isentropen Potenzials. Dieser Wertebereich ist aus zahlreichen Experimenten abgeleitet.

4. Ermittlung des Anteils des realen Arbeitspotenzials, das in der so genannten akustischen Phase der Reaktion auf den unteren Teil des RDB wirkt:

Dieser Anteil beträgt 0,5 % bis zu 11 %. Diese Schätzung ist sehr unsicher.

5. Bestimmung, ob der RDB-Boden versagt:

Ab einem Arbeitspotenzial in der akustischen Phase von über 150 MJ versagt der RDB-Boden. Diese Grenztragfähigkeit des RDB-Bodens (die im Beispiel für den EPR, Abschnitt 7.4.3.1 nicht behandelt wird), ist aus strukturdynamischen Rechnungen abgeleitet.

6. Ermittlung der zur vertikalen Expansion verfügbaren mechanischen Arbeit:

a) ohne Versagen am RDB-Boden:

100 % des realen Arbeitspotenzials abzüglich des o.g. Anteils auf den unteren Teil des RDB in der akustischen Phase,

b) mit Versagen des RDB-Bodens:

25 % des realen Arbeitspotenzials abzüglich des o.g. Anteils auf den unteren Teil des RDB in der akustischen Phase.

7. Ermittlung der tatsächlich geleisteten nach oben gerichteten Expansionsarbeit unter den im RDB herrschenden Beschränkungen (Gegendruck, begrenztes Expansionsvolumen) aus einer polytropen Zustandsänderung:

Bei Niederdruck-Fällen werden bis zu 100 % des realen Arbeitspotenzials abzügl. des o.g. Anteils auf den unteren Teil des RDB wirksam. Bei Hochdruck-Fällen ist dieser Anteil wesentlich (bis hinunter zu 10 %) geringer.

8. Vergleich der geleisteten mechanischen Arbeit mit der Grenzbelastbarkeit des RDB-Deckels:
Auf Grund der höheren Temperaturen von Einbauten und RDB bei Hochdruckfällen (Ergebnis integraler Rechenprogramme) ist die Grenzbelastbarkeit bei Hochdruckfällen geringer. Die Interpretation der FZK-BERDA-Experiment ergibt als Grenztragfähigkeit:
0,9 bis 2,0 GJ (bei RDB-Niederdruck) bzw. 0,25 bis 0,7 GJ (bei RDB-Hochdruck)
9. Ermittlung der Temperatur (z.B. aus integralen deterministischen Unfallanalysen) und des Druckverlaufs (z.B. über polytrope Zustandsänderung der Dampfexplosions-Reaktionszone) in den an den RDB angeschlossenen Rohrleitungen (einschließlich der Dampferzeuger-Heizrohre) während der Expansion und Vergleich mit der temperaturabhängigen Grenzbelastbarkeit der Leitungen:
Es ist zu berücksichtigen, dass die Leitungen bei Hochdruckfällen bereits nahe ihrer Grenzbelastbarkeit sein können und dass dann bereits relativ geringe Drucktransienten zu ihrem Versagen führen.

Dieses Rechenmodell liefert näherungsweise folgende in Tabelle 7-2 dargestellten Resultate (arithmetische Mittelwerte der berechneten Verteilungen) für bedingte Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Schäden am Reaktorkühlkreislauf. Dabei wurde in keinem Falle SHB-Versagen ermittelt.

Tabelle 7-2: Resultate für bedingte Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Schäden am Reaktorkühlkreislauf (RKL)

Druck im RDB bei Kernumlagerung und Art der Kernumlagerung	RDB-Deckelabriss	RDB-Boden-Versagen	Rissbildung am RDB-Boden	Schäden an Kühlmittel-Leitungen	Keine Schäden am RKL
>8 MPa, axial	<0,0001	0,2	0,1	0,2	0,5
>8 MPa, radial		0,0	0,1	0,2	0,7
2,5 bis 8 Mpa, axial		0,04	0,04	0,0	0,92
2,5 bis 8 Mpa, radial		0,0	0,0	0,0	1,0
<2,5 MPa, axial		0,005	0,002	0,0	0,993
<2,5 MPa, radial		0,0	0,0	0,0	1,0

7.4.4 Empfehlungen

Auf Grund der beiden Rechenbeispiele und unter Berücksichtigung der internationalen Literatur werden folgende Wahrscheinlichkeiten für großflächiges Sicherheitsbehälterversagen auf Grund einer in-vessel Dampfexplosion generisch für alle DWR vorgeschlagen:

5 % Fraktile: 10^{-5}

50 % Fraktile: 10^{-4}

95 % Fraktile: 10^{-3} .

Die Verteilung kann, falls nicht direkt berechnet, als Dreiecksverteilung angenommen werden. Für SWR ist die gleiche Methodik anwendbar. Es sind derzeit jedoch in Deutschland keine entsprechenden Analysen verfügbar. Im Vergleich zum DWR sind die zahlreichen Einbauten des unteren Plenums (mit geringerem Potenzial für kohärente Schmelze-Wasser-Wechselwirkung mit großen beteiligten Schmelzemassen), der weniger druckfeste RDB, die andersartigen oberen

Kerneinbauten und das potenziell größere Expansionsvolumen der Expansionszone von Bedeutung.

Die anderen Schädigungsarten des Reaktorkühlkreislafs (siehe das Rechenbeispiel für die Konvoi-Anlage) treten überwiegend bei Hochdruckfällen auf. Bei diesen Fällen würde sich mit hoher Wahrscheinlichkeit bald nach der Kernumlagerung ein Hochdruckversagen am RDB-Boden ergeben, wenn keine dampfexplosionsbedingte Schädigung eintritt. Sofern gezeigt werden kann, dass das Hochdruckversagen am RDB-Boden mindestens vergleichbar gravierende Konsequenzen hat wie die anderen dampfexplosionsbedingten Schädigungsarten, kann die Ermittlung dieser dampfexplosionsbedingten Schädigungsarten entfallen.

7.5 WASSERSTOFFVERBRENNUNG

7.5.1 Beschreibung

Im Zuge eines Kernschmelzunfalls können beträchtliche Mengen zündfähiger Gase, hauptsächlich Wasserstoff, erzeugt werden und zwar:

- im Kernbereich während der Abschmelzphase durch Oxidation des Zirkons der Hüllrohre,
- in der Reaktorgrube im Zuge der Schmelze-Beton-Wechselwirkung.

Die Auswirkungen einer Verbrennung auf den SHB hängen von der Wasserstoffkonzentration ab, die selbst wiederum von der freigesetzten Wasserstoffmenge und der Dampfkonzentration abhängt. Die Wasserstoffkonzentration bestimmt auch die Art der Verbrennung:

- laminare Verbrennung (mit quasi-statischem Druckaufbau) mit Flammengeschwindigkeiten im Bereich einiger m/s,
- Beschleunigung der Flamme bis hin zur Schallgeschwindigkeit und schnelle Verbrennung,
- Überslag einer schnellen Verbrennung in eine Detonation (DDT).

Die Analyse der Reaktion des SHB auf eine Verbrennung setzt daher voraus:

- Analyse der möglichen Zustände des SHB (Menge und Verteilung von Wasserstoff, Dampf, Sauerstoff),
- Analyse der Zündbedingungen,
- Analyse der möglichen Verbrennungsvorgänge und der daraus resultierenden Lasten,
- Analyse des daraus resultierenden Verhaltens des SHB.

Dieses Kapitel befasst sich schwerpunktmäßig mit dem DWR, da in Deutschland die SWR (teil-) inertisiert sind. Allerdings ist bei den SWR mit kleinerem SHB der Wasserstoff für den Druckaufbau bedeutsam; daher werden auch die Wasserstoffmengen für den SWR hier angegeben.

7.5.2 Methode zur Ermittlung der SHB-Reaktion auf H₂-Verbrennung

Im Rahmen deterministischer Sicherheitsanalysen wird das Verhalten des SHB im Falle einer Wasserstoffverbrennung für bestimmte Szenarien analysiert. Dabei kann folgendes Vorgehen angewandt werden:

1. Berechnung des Massen- und Energieeintrags unter Berücksichtigung der entsprechenden Bandbreiten in den SHB für das (oder die) ausgewählten Szenarien, etwa mit Integralcodes wie sie auch im Rahmen der PSA angewandt werden, z.B. MELCOR und MAAP4.

2. Berechnung der zeitabhängigen Gas- und Temperaturverteilung im SHB. Hierzu stehen sowohl „lumped parameter“ Rechenprogramme, wie COCOSYS und die anderen oben erwähnten Integralcodes, oder CDF Programme, wie CFX oder GASFLOW zur Verfügung.
3. Berechnung des möglichen AICC³ Druckes zu verschiedenen Zeitpunkten.
4. Bewertung des Potenzials der Flammenbeschleunigung bis hin zur Schallgeschwindigkeit im verbrannten Gas unter Berücksichtigung des isobaren Expansionsverhältnisses (Dichte nach Verbrennung dividiert durch Dichte vor der Verbrennung). Diese allein aus Gas- und Temperaturverteilung berechenbare Größe kann mit experimentell ermittelten Grenzwerten verglichen werden und daraus auf den Ausschluss einer schnellen Verbrennung geschlossen werden /BRE 00/.
5. Bewertung des Potenzials einer durch Flammenbeschleunigung induzierten Detonation (DDT⁴), falls Flammenbeschleunigung möglich, durch Vergleich der Detonationszellgröße (ebenfalls aus Gaskonzentration und Temperatur ermittelbar) mit einer charakteristischen Länge des Raumes (im Falle eines „lumped parameter“ Programms) oder der Gaswolke, innerhalb derer Flammenbeschleunigung möglich ist. Die Proportionalitätskonstante hierfür ist experimentell ermittelt worden /BRE 00/.

Wenn schnelle Verbrennung auf Grund des oben erwähnten Kriteriums (und eventuell weiterer, die Konservativität abbauender Kriterien) nicht ausgeschlossen werden kann, muss der Prozess der Verbrennung und die damit einhergehende Flammenbeschleunigung mit geeigneten Rechenprogrammen ermittelt werden. Hierfür kommen praktisch nur CFD Programme wie CFX und GASFLOW in Frage.

Für die PSA der Stufe 2 kann dieses Verfahren nicht nur wegen des hohen Rechenaufwandes so nicht angewandt werden, sondern auch weil es nur Punktwerte für wohl-definierte Szenarien liefert. Die Verzweigungswahrscheinlichkeiten müssen aber eine Gruppe von Szenarien abdecken, die darüber hinaus in sich noch eine breite Variation beinhalten, etwa Position des Lecks, Orientierung des Lecks. Außerdem mündet ein solches Verfahren nicht direkt in Wahrscheinlichkeiten.

Es kann aber leicht modifiziert angewandt und damit der Bezug zum experimentellen Kenntnisstand über einen „Monte-Carlo“-Ansatz bewahrt werden. Dabei werden die essentiellen Parameter in einem plausiblen Bereich, der die szenarischen und programmtechnischen Unsicherheiten widerspiegelt, variiert und die resultierende Druckverteilung mit der entsprechenden Versagensdruckverteilung des SHB verglichen. Durch Vergleich der beiden Kurven erhält man dann direkt die Versagenswahrscheinlichkeit.

Insgesamt kann für das Verhalten des Sicherheitsbehälters nach einer Verbrennung vereinfachend unterstellt werden:

- Bei laminarer Verbrennung: AICC Druck (dies ist eine sehr konservative obere Grenze)
- Bei nicht auszuschließender Flammenbeschleunigung: doppelter AICC-Druck
- Bei DDT: Versagen des SHB ohne weitere Analysen.

7.5.3 Beispiel zur Ermittlung der Menge des Wasserstoffs

Wasserstoff wird im Verlauf der Kernzerstörung vor allem infolge der Oxidation von Zirkon durch Wasserdampf erzeugt. Dabei bestehen erhebliche Unsicherheiten über Details der Vorgänge, die dazu führen, dass die Bandbreite möglicher Wasserstoffmengen erheblich ist. Ein theoretischer

³ AICC...adiabatic isochoric complete combustion

⁴ DDT...Deflagration to Detonation Transition

oberer Grenzwert für die Wasserstoffmenge ergibt sich bei vollständiger Zirkonoxidation. Aus einer Masseneinheit Zirkon entstehen dann entsprechend den Molmassen 4/91 Masseneinheiten Wasserstoff.

Die im Unfallablauf entstehende Wasserstoffmenge wird aus integralen deterministischen Analysen und aus experimentellen Ergebnissen abgeleitet.

Für einen DWR mit einer Zirkonmasse von 32 Mg und mit einer dementsprechenden theoretischen Obergrenze von 1,4 Mg Wasserstoff wurde in /LOE 00/ folgende Verteilung der Wasserstoffmengen verwendet:

0,25 kumulative Wahrscheinlichkeit für 400 bis 600 kg (Gleichverteilung in diesem Bereich)

0,5 kumulative Wahrscheinlichkeit für 600 bis 800 kg (Gleichverteilung in diesem Bereich)

0,25 kumulative Wahrscheinlichkeit für 800 bis 1200 kg (Gleichverteilung in diesem Bereich)

Für DWR mit anderen Zirkonmassen können diese Wasserstoffmengen mit den Zirkonmassenverhältnissen multipliziert werden.

Ein SWR der Leistung 1000 MW enthält 53 Mg Zr. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass etwa die Hälfte des Zr zu den Brennelementkästen gehört und nicht im selben Umfang oxidiert wird wie das Hüllrohr-Zr.

7.5.4 Beispiel zur Ermittlung von Zündquellen und Zündwahrscheinlichkeiten

Falls ein brennbares Gemisch vorliegt, ist zusätzlich eine Zündquelle erforderlich, bevor eine Verbrennung stattfinden kann. Erfahrungen aus konventionellen Unfällen mit unkontrollierter Gasfreisetzung und dem TMI-2 Ereignis zeigen, dass sich z.B. in Gebäuden ein brennbares Gemisch bilden und über längere Zeit nicht reagieren kann, bevor es durch eine Zündquelle zur Verbrennung kommt. Bei trockenen Wasserstoff-Luft-Gemischen ist die zur Zündung notwendige Energie vergleichsweise gering.

Für die Unfallanalyse ist es von Bedeutung, innerhalb welchen Zeitbereiches eine Zündquelle wirksam wird. Steigt beispielsweise die Wasserstoffkonzentration in einem Raum kontinuierlich an, dann wird bei einer stetig wirkenden Zündquelle eine Zündung unmittelbar nachdem das Gemisch die Brennbarkeitsgrenze erreicht hat einsetzen. Die untere Brennbarkeitsgrenze kann dabei nur unwesentlich überschritten werden und heftige Verbrennungen sind folglich nicht möglich. Wenn jedoch die Zündquelle unstetig ist, weil sie beispielsweise auf unregelmäßiger Funkenbildung beruht, können sich bis zu einer Zündung höhere Wasserstoffkonzentrationen aufbauen und heftigere Verbrennungen oder Detonationen können dann nicht mehr ausgeschlossen werden.

7.5.4.1 Vor RDB-Versagen

Es existieren drei Arten potenzieller Zündquellen:

- a) Elektrische Einrichtungen, die beim Schalten oder bei ihrem Versagen (z.B. Leuchtstoffröhren, Glühlampen) Funken generieren,
- b) Katalytische Rekombinatoren, deren Gasaustrittstemperatur oberhalb der Selbstzündungstemperatur (um 873 K) liegen kann,
- c) Heiße Gase (Wasserstoff, Dampf), die im Falle eines Lecks in den SHB gelangen können.

Als dominant wird die Zündquelle b) angesehen; die Gasaustrittstemperatur lässt sich für jeden Rekombinator und jedes Szenario berechnen. Als Anhaltspunkt kann eine linear von 0 auf 1

ansteigende Zündwahrscheinlichkeit für H₂ Freisetzung von 500 bis 800 kg (Konvoi) dienen, mit Zündung zum Zeitpunkt, an dem die maximale Menge Wasserstoff im SHB ist.

Zündquelle a) wird als unwahrscheinlich angesehen (es sind keine Schalthandlungen vorgesehen)

Zündquelle c) ist relevant nur im Falle eines Lecks im heißen Strang; die Bedingungen in der Nähe des Lecks dürften jedoch im Allgemeinen dampfinert sein und eine Zündung (insbesondere des gesamten Wasserstoffs) ausgeschlossen sein.

In /LOE 00, Abschnitt 4.5.2.4/ wird dargestellt, welche Annahmen zu Zündquellen in bisherigen PSA verwendet wurden, und es werden nach Ort und Unfallphase differenzierte Zündwahrscheinlichkeiten hergeleitet. Zusammenfassend sind aus /LOE 00/ folgende Zündwahrscheinlichkeiten in einem nicht inertisierten und mit passiven Rekombinatoren ausgerüsteten SHB ableitbar:

- bei Kühlmittelverluststörfällen befindet sich am Leck immer eine stetige Zündquelle
- bei Ausfall der Stromversorgung und bei Gasgemischen, die nicht detonativ sind, liegt die Zündwahrscheinlichkeit zwischen 0,0 und 1,0 (Dreiecksverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte mit Maximum bei 0,4)
- bei verfügbarer Stromversorgung und bei Gasgemischen, die nicht detonativ sind, liegt die Zündwahrscheinlichkeit zwischen 0,0 und 1,0 (Dreiecksverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte mit Maximum bei 0,75)
- bei Gasgemischen, die detonativ geworden sind, findet mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,8 bis 1,0 (Gleichverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte) eine relativ frühe Zündung durch stetige Zündquellen statt, und mit dem Komplement dieser Wahrscheinlichkeit (d.h. mit 0,2 bis 0,0) ergibt sich eine späte Zündung durch eine unstetige Zündquelle.

7.5.4.2 Beim RDB-Versagen

Die Zündwahrscheinlichkeit im SHB (außerhalb der Grube) ist abhängig von der dispergierten Schmelze (siehe Abschnitt 7.6) und damit vom Primärkreisdruck vor RDB Versagen. In der Grube selbst ist mit einer Zündung zu rechnen, falls genügend Sauerstoff (etwa über die Kühlkanäle) zuströmen kann.

Für die Zündung des gesamten zu diesem Zeitpunkt im SHB befindlichen Wasserstoffs wird vorgeschlagen (jeweils Erwartungswerte):

Unter 2 MPa: 0

2 bis 8 MPa: 0,5

oberhalb 8 MPa: 1.

Stehende Flamme in der Grube wird nachfolgend behandelt.

7.5.4.3 Nach RDB-Versagen

Findet nach RDB-Versagen eine Wechselwirkung der Schmelze mit dem Beton der Reaktorgrube statt, so werden heiße Gase (Dampf, Wasserstoff, CO₂ und CO) weit oberhalb der Selbstzündungstemperatur des Wasserstoffs freigesetzt.

Für das Vorhandensein von Zündquellen gilt dabei:

- In allen Räumen, in die Kernmaterial gelangt, liegt eine stetige Zündquelle vor.
- In Räumen, in denen sich kein Kernmaterial befindet, gelten die gleichen Annahmen wie vor dem RDB-Versagen.

Zum ersten Punkt sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- a) In der Grube befindet sich genügend Sauerstoff so dass eine kontinuierliche Verbrennung aufrechterhalten werden kann. In diesem Falle ist die Zündwahrscheinlichkeit 1; es ist anzunehmen, dass dann auch instantan der gesamte zu diesem Zeitpunkt noch aus der früheren Phase vorhandene Wasserstoff verbrennt.
- b) Eine Verbrennung in der Grube ist aus Mangel an Sauerstoff nicht möglich: in diesem Fall gelangt der Wasserstoff in den oberen Bereich des SHB wo er, bei allerdings deutlich niederen Temperaturen, sich mit der dortigen Atmosphäre mischt. In diesem Falle sind die katalytischen Rekombinatoren die wahrscheinlichste Zündquelle und es kann ein Verfahren wie „vor dem RDB-Versagen“ angewandt werden, also etwa von 0 auf 1 ansteigende Zündwahrscheinlichkeit entsprechend dem neu erzeugten Wasserstoff. Hierbei ist allerdings unter Berücksichtigung des schon vorher verbrannten Wasserstoffs eine Korrektur hinsichtlich des reduzierten Sauerstoffs vorzunehmen.

Alle hier genannten Zündquellen führen nur zur Zündung, wenn ein zündfähiges Gemisch vorliegt. In /MAY 88/ wird folgende Korrelation für die Zündfähigkeit eines Gemisches angegeben:

$$H_2O < 100 - 37,3 * \exp(-0,007 * H_2) - 518 * \exp(-0,488 * H_2)$$

Dabei sind H_2 und H_2O die entsprechenden Volumenkonzentrationen in %.

7.5.5 Beispiel zu Ermittlung der Verbrennungslasten

7.5.5.1 Globale Bewertung von Verbrennungslasten

Das im vorliegenden Abschnitt beschriebene Vorgehen bei der globalen Bewertung von Wasserstoffverbrennungen setzt voraus, dass der SHB in einige wenige Zonen unterteilt wird (z.B. in Betriebs- und Anlagenräume und in einen peripheren Raum) und dass für diese Zonen die mittleren Atmosphärenbedingungen (z.B. Wasserstoffvolumenanteile, Druck, Temperatur) vorliegen. Auf dieser Grundlage kann der Druck bei Wasserstoffverbrennung wie nachfolgend beschrieben ermittelt werden. Die Angaben sind ein gekürzter Auszug aus /LOE 00/.

Als Grundlage für die Bestimmung von Druckerhöhungen infolge von Wasserstoffverbrennungen wird der adiabate isochore Verbrennungsdruck verwendet. Bei einer adiabaten isochoren Verbrennung wird die gesamte Reaktionsenergie verlustfrei dem Gasvolumen zugeschlagen. Aus der daraus entstehenden Temperaturerhöhung wird über die Gasgesetze die Druckerhöhung bestimmt. Lässt man dynamische Effekte durch Druckwellen zunächst außer Acht, ist der adiabate isochore Verbrennungsdruck der infolge einer Verbrennung entstehende maximal mögliche Druck.

Der Druckanstieg auf Grund einer adiabaten isochoren Verbrennung wird üblicherweise in Form eines Druckerhöhungsfaktors angegeben, der das Verhältnis der Absolutdrücke nach bzw. vor der Verbrennung angibt. Beispielsweise sind in /LOE 00/ folgende Stützpunkte enthalten:

verbrannter Wasserstoffvolumenanteil:	0,04	0,16	0,30	0,48	0,75
Druckerhöhungsfaktor:	2,2	5,8	8,0	6,9	4,4

Werte für dazwischen liegende verbrannte Wasserstoffvolumenanteile können durch Interpolation gewonnen werden.

Diese Werte gelten für eine Anfangstemperatur von 298 K. Bei höheren Anfangstemperaturen, wie sie im SHB während des Unfalles herrschen, sind die Druckerhöhungsfaktoren geringer. In /BMF 90, S. 627/ ist beispielsweise angegeben, dass der Druckerhöhungsfaktor bei 423 K nur etwa 75 % des Wertes bei 293 K beträgt. Die obigen Druckerhöhungsfaktoren können daher bei Anfangstemperaturen über 323 K mit dem Faktor $323/T_{SHB}$ multipliziert werden. T_{SHB} ist dabei

die im SHB herrschende Temperatur in K. Dieser Faktor hat beispielsweise bei der SHB-Temperatur 423 K den Wert 0,75.

Obige Werte gelten für eine vollständige Verbrennung, d.h. nach der Verbrennung ist einer der beiden Reaktionspartner völlig aufgebraucht. Gemische knapp über der Brennbarkeitsgrenze erreichen jedoch in der Realität keinen vollständigen Ausbrand. In /LOE 00/ wird angegeben, dass bei einem Wasserstoffvolumenanteil von 0,04 der Ausbrand Null ist. Der Ausbrand nähert sich asymptotisch dem Wert 1 bei Wasserstoffvolumenanteilen um 0,11. Diese Angaben gelten für aufwärtsgerichtete Flammen. Um auch abwärtsgerichtete Flammen und Unsicherheiten abzudecken, soll der Volumenanteil zum Erreichen eines kompletten Ausbrandes zwischen 0,08 und 0,12 variiert werden (Gleichverteilung). Zwischen 0,04 und dem Volumenanteil für einen kompletten Ausbrand nimmt der Ausbrand linear von 0,0 auf 1,0 zu. Der Druckerhöhungsfaktor wird dann entsprechend der obigen Tabelle aus dem verbrannten Wasserstoffvolumenanteil abgeleitet.

Die bisherigen Angaben beruhen auf der Annahme, dass die Wasserstoffverteilung innerhalb des betrachteten Volumens gleichmäßig ist. Werden größere Raumbereiche innerhalb des SHB betrachtet, ist darin nicht mit einer gleichmäßigen Verteilung zu rechnen. Zu den oben berechneten Drücken ist folglich ein Korrekturfaktor infolge ungleichmäßiger Verteilung hinzuzurechnen. In /LOE 00/ wird das Verhältnis von minimaler zu maximaler Wasserstoffkonzentration im jeweiligen Raumbereich als Korrekturfaktor benutzt. Um unrealistisch niedrige Korrekturfaktoren bei extremen Konzentrationsunterschieden zu vermeiden, wird der Korrekturfaktor nach unten auf 0,3 begrenzt.

Die bis hierhin festgelegte Vorgehensweise zur Druckberechnung gilt für deflagrative Gemische. Die Behandlung detonativer Gemische wird nachfolgend beschrieben.

Detonationen verlaufen so schnell, dass die dabei entstehenden Spitzendrücke wieder abgefallen sind, bevor der SHB seine maximalen Dehnungen erreicht hat. In diesen Fällen ist der berechnete Spitzendruck zur Charakterisierung der Strukturbelastung nicht verwendbar. Zur Bestimmung der Belastung des SHB infolge einer Detonation wird deshalb ein effektiver SHB-Druck definiert und berechnet. Der effektive Druck ist derjenige quasistatische Druck, der dieselbe maximale Strukturbelastung bewirkt wie der Druck-Zeit-Verlauf der Detonation.

In /BRE 95/ werden mittels eines analytischen Rechenverfahrens folgende allgemeinen Aussagen zum effektiven SHB-Druck von Wasserstoffverbrennungen hergeleitet:

- Langsame Verbrennungen (Deflagrationen) belasten den SHB (sowie Strukturen allgemein) mit dem effektiven Druck, der dem oben hergeleiteten korrigierten adiabaten isochoren Verbrennungsdruck des jeweiligen Gasgemisches entspricht.
- Schnelle Verbrennungen belasten einen typischen SHB, dessen Eigenfrequenz bei 5-12 Hz liegt, mit einem effektiven Druck, der dem doppelten adiabaten isochoren Verbrennungsdruck des jeweiligen Gasgemisches entspricht. Die Art der schnellen Verbrennung (Detonation, hochturbulente Deflagration, oder Übergang von Deflagration zu Detonation) sowie weitere Parameter des Druckverlaufes (z.B. Maximaldruck oder Impuls) sind für die Belastung des SHB unwesentlich.

Wenn die bis hier beschriebenen Drücke infolge von Wasserstoffverbrennungen die Grenzbelastbarkeit des SHB bei Innendruckbelastung übersteigen, versagt der SHB.

Zusätzlich ist zu erwägen, ob am SHB lokale Leckagen entstehen können, weil Gegenstände unter Einwirkung von Verbrennungsdrücken den SHB indirekt beschädigen. Beispielsweise ist es denkbar, dass Kabeltrassen abgerissen werden und dass die betroffenen schlagenden Kabel an ihrer Durchführung durch den SHB ein Leck verursachen. Im Rahmen einer PSA können derartige Fragen in der Regel nicht im Einzelnen geklärt werden. Um derartige Vorgänge nicht zu ignorieren, zugleich aber ihrem unwahrscheinlichen Charakter Rechnung zu tragen, wird hier mit einer

Wahrscheinlichkeit von 0,0 bis 0,1 (Gleichverteilung) angenommen werden, dass der SHB ein auslegungsüberschreitendes Leck erhält, wenn in seinem Inneren eine Detonation stattfindet.

7.5.5.2 Beispiel für Verbrennungslasten auf EPR-SHB

In diesem aus der EPR PSA (erstellt 2004, FANP) stammenden Beispiel wird von mit einem „lumped parameter“ Programm berechneten Gaskonzentrationen und –temperaturen ausgegangen und über ein Monte-Carlo-Verfahren die Versagenswahrscheinlichkeit des SHB ermittelt. Die für die Bewertung von DDT benötigte charakteristische Länge eines Raumbereichs wird als 3. Wurzel des Raumvolumens angenommen. Die für die Flammenbeschleunigung relevante H₂ Spitzenkonzentration wird gleich dem 1,5 fachen der mittleren Raumkonzentration gesetzt. Dieser Überhöhungsfaktor resultierte aus entsprechenden CFD Rechnungen.

Da die Grenzwerte für die Flammenbeschleunigung aus weitgehend geschlossenen Rohrversuchen ermittelt worden sind, wird eine Korrektur für seitliche Abströmung verwandt /VES 03/, die proportional zum Verhältnis der Wandöffnungen zur Wand ist. Die Korrektur erhöht den Grenzwert für die Dampferzeugerräume um 22 %.

Die Gasverteilung (Dampf- und Wasserstoffkonzentrationen) wird entsprechend einer Gaußverteilung mit der Standardabweichung 0,1 um den Basiswert ausgespielt.

Für den Grenzwert der Flammenbeschleunigung wird ebenfalls die Standardabweichung 0,1 angenommen.

Wegen der schwierigen Bestimmung wird für die charakteristische Länge eine Standardabweichung von 0,2 angenommen.

Das folgende Beispiel stammt aus der EPR PSA:

Geometrie des EPR SHB: Volumen 80000 m³;
Charakteristische Längen: Anlagenräume: 21 m
 Kuppelraum: 37 m
 Ringräume: 25 m.

Basiswerte:

Gesamtmenge Wasserstoff: 862 kg,

Anfangsdruck: 0,18 MPa.

Mittlere Gaskonzentrationen und Temperaturen:

Anlagenräume:	8 vol-% H ₂ ,	30 vol% Dampf,	373K
Kuppelraum:	6,2 vol-% H ₂	30 vol% Dampf,	400K
Ringräume:	6,2 vol-% H ₂	30 vol% Dampf,	363K

In 5,6 % der Fälle tritt für diese Szenario Flammenbeschleunigung, in 0,13 % DDT auf. Daraus resultiert für den EPR SHB eine Versagenswahrscheinlichkeit von 0,0023. In 0,83 % der Fälle liegt der Druck im SHB über 1 MPa.

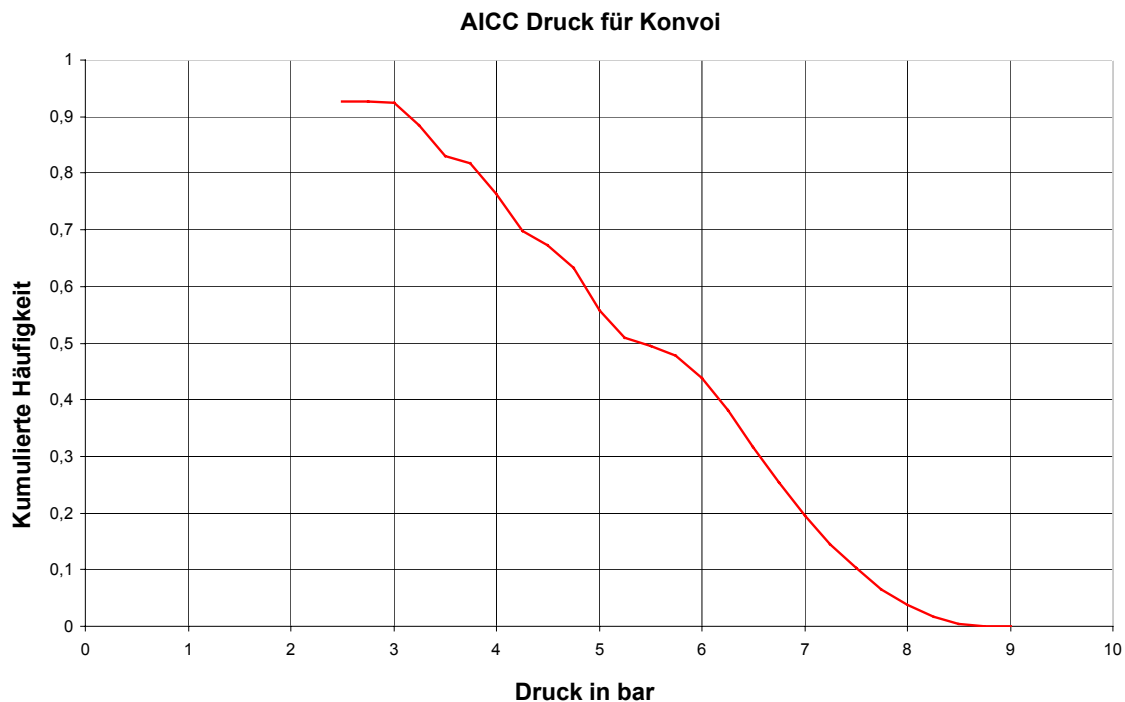


Bild 7-4: Kumulierte Häufigkeit für AICC Druck in einem SHB einer Konvoi-Anlage

Unter der Annahme der in Abschnitt 7.5.3 angeführten Häufigkeitsverteilung des freigesetzten Wasserstoffs, realisiert als asymmetrische „Gauss-Verteilung“, ergibt sich für einen SHB mit dem Volumen einer Konvoi-Anlage ein mittlerer AICC-Druck um 0,65 MPa und eine Wahrscheinlichkeit von $3,8 \cdot 10^{-2}$ den Wert 0,8 MPa zu überschreiten. Die Wahrscheinlichkeit für schnelle Verbrennung in den Anlagenräumen beträgt $9 \cdot 10^{-3}$, DDT tritt mit der Häufigkeit von $8 \cdot 10^{-4}$ auf. Die Bild 7-4 zeigt die kumulierte Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit, dass der AICC-Druck über dem vorgegebenen Druck liegt). Die Abbildung zeigt, dass der AICC-Druck nahezu gleichverteilt zwischen 0,3 und 0,85 MPa liegt.

7.5.6 Empfehlung

Die im vorausgegangenen Abschnitt vorgeschlagenen Methoden liefern Ergebnisse, die stark anlagenspezifisch (z.B. Menge H_2 , Dampfkonzentration bzw. typspezifisches SHB-Volumen, Traglast, Verhalten SHB) sind und daher nicht direkt auf andere Anlagen übertragen werden können. Aber die Methoden und die dabei angegebenen generischen Parameter können für alle LWRs, bei denen zündfähige Gemische auftreten können, angewandt werden.

7.6 VERSAGEN DES RDB UNTER HOHEM PRIMÄRKREISDRUCK

7.6.1 Beschreibung

Ein Versagen des RDB unter hohem Innendruck (> 8 MPa) kann auf verschiedene Weise zum Versagen des SHB führen, weshalb der Bewertung der primärseitigen Druckentlastung (inklusive des passiven Versagens einer heißen Primärkreisleitung) im Rahmen der PSA besondere Bedeutung zukommt und hier zusammenhängend behandelt wird. Alle Phänomene, die möglicherweise zum Versagen des SHB führen, hängen von der zeitlichen Entwicklung der RDB-Leckgröße und dem Zustand der Schmelze (Menge, Zusammensetzung) zum Zeitpunkt des RDB-

Versagens ab. Da außerdem die Gestaltung des RDB Bodens und die Geometrie des SHB, insbesondere der Reaktorgrube, stark in die Bewertung der Phänomene eingeht, sind alle Aussagen zum SHB-Versagen anlagentypspezifisch.

Die wesentlichen Belastungen des SHB resultieren aus:

- dem Eintrag fragmentierter Schmelze in den SHB und der plötzlichen Aufheizung seiner Atmosphäre (DCH⁵). Damit einher können Oxidationsvorgänge (etwa des in der Schmelze befindlichen Zr) und Wasserstoffverbrennungen gehen.
- der Belastung des SHB durch Trümmer, die dadurch entstehen, dass der RDB sich aus seiner Verankerung löst und sich nach oben bewegt.

Im nachfolgenden wird zunächst auf die Ermittlung der Leckgröße und danach auf die Ermittlung der resultierenden Lasten eingegangen.

7.6.2 Methoden zur Beschreibung der Phänomene beim Hochdruckversagen des RDB

7.6.2.1 Methode zur Ermittlung des RDB-Versagens

Für den Unfallablauf ist es wesentlich, ob der RDB-Boden bei erhöhtem Druck kleinflächig oder mit einem großen Leck versagt. Es ist zunächst zu klären, ob in dieser Unfallphase der RDB-Boden von Wasser benetzt ist oder nicht.

Bei deutschen Druckwasserreaktoren ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass die Reaktorgrube bis zum RDB-Bodenversagen trocken ist. Bei Siedewasserreaktoren ist es hingegen möglich, dass Leckagen, Überströmungen aus der Kondensationskammer oder Notfallmaßnahmen zu einem entsprechend hohen Füllstand im Steuerstabantriebsraum führen. Nachfolgend aufgeführte Bewertungen sind demnach zu unterscheiden.

7.6.2.1.1 Siedewasserreaktor, nicht benetzter RDB-Boden

Bei Siedewasserreaktoren befinden sich zahlreiche verschiedenartige Durchführungen im RDB-Boden. Diese werden unmittelbar mit heißem Kernmaterial im unteren Plenum beaufschlagt. Die zugehörigen Stutzen werden im Inneren des RDB nach kurzer Zeit zerstört. Selbst wenn dann der Austritt von Kernmaterial in den Steuerstabantriebsraum zunächst noch behindert bleibt – z.B. durch Krustenbildungen oder Verstopfungen in Schutz- und Führungsrohren – ist damit zu rechnen, dass bei der Vielzahl von Durchführungen zumindest eine Durchführung versagt, bevor der RDB-Boden großflächig zerstört ist.

7.6.2.1.2 Siedewasserreaktor, benetzter RDB-Boden

Es ist zu prüfen, ob alle Durchführungen so ausgebildet sind, dass sie vollständig und dauerhaft von außen benetzt werden können. Dies ist beispielsweise bei manchen Typen von Instrumentierungsstutzen nicht möglich, so dass in diesen Fällen der gleiche lokale Versagensmodus des RDB-Bodens gilt wie ohne Benetzung.

Falls alle Durchführungen benetzbar sind, ist als nächstes zu untersuchen, ob der an der Außenseite des RDB-Bodens sich bildende Dampf dauerhaft abgeführt werden kann. Dies ist nur der Fall, wenn ausreichende Wärmesenken und Strömungswege für den Dampf vorliegen. Beispielsweise können am oberen inneren Rand der RDB-Tragezarge nicht durchströmbare

⁵ DCH... direct containment heating

Toträume für den Dampf bestehen. Falls derartige Strömungshindernisse vorliegen, ist mit der Lage und Form der entstehenden Dampftaschen zugleich auch der Teil des RDB-Bodens festgelegt, der am wenigsten gekühlt wird, und für den folglich mit Versagen zu rechnen ist.

Falls derartige Strömungshindernisse nicht vorliegen, ist die kritische Wärmestromdichte für Filmsieden auf der Außenseite des RDB der begrenzende Faktor (siehe folgender Abschnitt: Ständig benetzter DWR- oder SWR-Boden, äußere Wärmeabfuhr gewährleistet).

7.6.2.1.3 Druckwasserreaktor, unbenetzter Boden

Nachfolgend wird davon ausgegangen, dass der RDB-Boden eines DWRs keinerlei Durchführungen aufweist. Sollte dies nicht der Fall sein, ist die Diskussion zum Siedewasserreaktor sinngemäß anzuwenden. Zahlreiche experimentelle und analytische Untersuchungen weisen darauf hin, dass eine Kernschmelze im unteren Plenum die höchsten Wärmeflüsse an ihrem oberen seitlichen Rand entwickelt. Unter hohem Innendruck versagt der RDB jedoch schon bei relativ niedrigen mittleren Temperaturen, um 1000 K. Es ist daher zu prüfen, ob hinreichend Zeit für die Ausbildung eines großen Schmelzsees mit konvektivem Wärmetransport nach oben zur Verfügung steht oder ob die Belastung am Boden größer ist. Abhängig davon versagt der RDB entweder großflächig (Kalottengröße von der Ausbildung des Schmelzsees abhängig) oder kleinflächig am Boden. Ein weiteres Szenario das zur lokalen Penetration des RDB Bodens führen kann liegt vor, wenn ein länger anhaltender Schmelzestrahle aus dem Kernbereich auf den RDB-Boden trifft. Die Wahrscheinlichkeit dafür scheint jedoch so gering, dass dieses Szenario im Allgemeinen ohne besondere Nachweise nicht zu unterstellen ist.

7.6.2.1.4 Ständig benetzter DWR- oder SWR-Boden, äußere Wärmeabfuhr gewährleistet

Hierbei ist die an die Außenseite des RDB an das Fluid abführbare Wärmemenge zu bestimmen und mit der maximalen lokalen Wärmestromdichte der Schmelze zu vergleichen. Ein Beispiel aus /SON 01/ findet sich in Abschnitt 7.6.3.1.1.

Falls der so bestimmte Wärmestrom aus der Schmelze an die RDB-Wand außen durch Filmsieden abgeführt werden kann, ist durch Wärmeleitungsrechnung zu bestimmen, welche tragende Wandstärke des RDB verbleibt, und ob der im RDB herrschende Druck abgetragen werden kann. Ist dies nicht der Fall, ist von großflächigem (gemeint ist praktisch Rundabriss) RDB-Versagen auszugehen.

Die bisherigen Ausführungen lassen erkennen, dass eine analytische Bestimmung der Versagensart und insbesondere der damit verbundenen Leckfläche - wenn überhaupt - nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist. Eine Alternative zum analytischen Ansatz besteht in der direkten Anwendung experimenteller Ergebnisse (siehe Beispiel in Abschnitt 7.6.3.1.2).

7.6.2.2 Methode zur Ermittlung der Auswirkungen auf den SHB

Ein Versagen des SHB durch sich beim RDB Versagen unter hohem Druck bildende Trümmer lässt sich analytisch im Rahmen einer PSA nur schwerlich ermitteln. In Abschnitt 7.6.4.1 werden Empfehlungen für das Vorgehen im Rahmen einer PSA der Stufe 2 für den Fall des Hochdruckversagens gegeben.

Auswirkungen des direkten Wärmeeintrags aus Schmelzenpartikeln auf die Integrität des SHB (DCH) sind nur bei Versagen des RDB unter hohem Innendruck zu erwarten. Der aus dem direkten Wärmeeintrag resultierende Druckaufbau kann noch verstärkt werden durch die Oxidation

eines Teils des restlichen Zirkons der Schmelze und durch die Verbrennung des zu diesem Zeitpunkt im SHB befindlichen Wasserstoffs.

Nach Festlegung der Fragmentverteilung können einfache thermodynamische Annahmen (Temperaturausgleich zwischen Fragmenten und Atmosphäre, adiabater Druckausgleich zwischen verschiedenen Räumen) benutzt werden, um den Druckaufbau zu berechnen.

Die Verteilung der Fragmente und der Druckaufbau können grundsätzlich auch mit integralen Rechenprogrammen berechnet werden. Dabei ist in der Regel jedoch die Fragmentverteilung vom Benutzer durch eine entsprechende Dateneingabe direkt zu steuern.

Bei der Ermittlung der Schmelzenmasse, die fragmentiert den Kuppelbereich erreicht, ist zu berücksichtigen, dass in diesem Falle (RDB-Versagen unter hohem Druck) bedingt durch die Bewegung des RDB nach oben sich ein vergrößerter Abströmquerschnitt ergeben kann.

Die Druckverteilung im Falle eines Schmelzenaustrags unter hohem Innendruck lässt sich auf unterschiedliche Weise mit unterschiedlichem Aufwand ermitteln:

A) Überschlägige Ermittlung des möglichen Druckniveaus

Die vorstehend beschriebene Methode gibt eine grobe Abschätzung des möglichen Sicherheitsbehälterdruckes unter der Annahme:

- der Menge der dispergierten Schmelze,
- des Grades der Wärmeentspeicherung in die Sicherheitsbehälteratmosphäre,
- der zusätzlichen Oxidation von Zr,
- der zusätzlichen H_2 -Verbrennung.

B) Thermodynamischer Ansatz zur Ermittlung des möglichen Druckniveaus

Hierbei werden Fragmentverteilungen unterstellt und mit einfachen thermodynamischen Annahmen für einen Konvoi-DWR – zunächst ungeachtet weiterer Druckbeiträge aus Verbrennungen und Wasserdampf – ermittelt. Diese Methode ist in /LOE 00/ beschrieben.

C) Detaillierte Berechnung des möglichen Druckniveaus

Im Nachgang zur NUREG 1150 Aktivitäten /NRC 90/ wurden in den USA große Anstrengungen unternommen, das DCH Problem abschließend zu bewerten. In /PIL 96/ und den dort zitierten NUREG Berichten wird eine Methode vorgeschlagen, bei der die Grubengeometrie durch das Verhältnis der Entspeicherungszeit der Schmelze zur Ausströmzeit berücksichtigt wird.

7.6.3 Beispiele

7.6.3.1 Beispiel zum RDB-Versagen

7.6.3.1.1 Versagen eines ständig benetzten RDB-Bodens

Durch Filmsieden auf der Außenseite des RDB-Bodens kann zwischen $0,2 \text{ MW/m}^2$ und $1,0 \text{ MW/m}^2$ (Mittelwert über den gesamten Boden) und zwischen $0,3 \text{ MW/m}^2$ und $1,5 \text{ MW/m}^2$ (Spitzenwert im oberen annähernd vertikalen Wandbereich) abgeführt werden. Für den von innen wirkenden Wärmestrom aus der Kernschmelze kann Folgendes angenommen werden:

- Die gesamte Nachwärmeleistung der Schmelze ist von mehreren Faktoren abhängig (z.B. Abbrand, Umlagerungszeitpunkt nach Abschaltung), die für den einzelnen Ablauf zu ermitteln sind.

- Der nach unten in die Kalotte gerichtete Anteil der Nachwärmeleistung beträgt 30 % bis 60 %.
- Das Verhältnis der maximalen lokalen zeitlich gemittelten Wärmestromdichte zur globalen zeitlich gemittelten Wärmestromdichte hat eine Häufung um den Wert 2,0. Dies ist das Ergebnis zahlreicher entsprechender Experimente. Es wird eine Dreiecksverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichte für das Verhältnis mit den Eckwerten 1,5 - 2,0 - 3,0 angenommen.

7.6.3.1.2 Experimente bei Sandia zum RDB-Versagen unter hohem Innendruck (10 MPa)

In Sandia /SAN 98/ wurden skalierte Experimente (linearer Skalierungsfaktor 4,85) zum RDB Versagen bei einem Innendruck von 10 MPa durchgeführt. Der Wärmeeintrag erfolgte dabei durch direkte Beheizung der Behälterinnenwand mit verschiedener Wärmeverteilung:

- Gleichmäßige Heizung,
- Heizung bevorzugt am Boden,
- Heizung bevorzugt am Rande.

Bei allen 7 Versuchen mit 10 Mpa (ein Versuch wurde bei 5 MPa durchgeführt) erfolgte das Behälterversagen in einem engen Temperaturbereich um 1000 K (900 K bis 1100 K). Die Ergebnisse (skaliert mit dem Faktor 4,85²) für die Leckfläche unter Weglassung zweier Versuche mit Durchführungen am RDB-Boden sind:

Gleichmäßige Beheizung:	0,3 m ² , 2,2 m ²
Heizung bevorzugt am Boden:	0,0412 m ²
Heizung bevorzugt am Rande:	0,0645 m ² , 0,3 m ² .

Die beiden Versuche mit Durchführungen am RDB-Boden ergaben ein uneinheitliches Bild:

1. Gleichmäßige Beheizung, 30 Durchführungen jeweils 8,1 mm Durchmesser. Hierbei versagte eine Durchführung und es ergab sich die doppelte Leckfläche. Skaliert auf Reaktorbedingungen ergibt sich dabei eine Leckfläche von 50 cm².
2. Heizung bevorzugt am Rande, 9 Durchführungen. Hierbei trat großflächiges Versagen auf mit der skalierten Fläche von 3,58 m².

Sofern die zu untersuchende Anlage ähnlich aufgebaut ist, können diese Daten zur Bestimmung der RDB-Versagenswahrscheinlichkeit (-fläche) verwendet werden.

Bei der Übertragung dieser Fragestellung auf einen SWR – sofern dort ein großflächiges RDB-Bodenversagen zu unterstellen ist – ist zu berücksichtigen, dass ein großflächiges Versagen des RDB-Bodens unter hohem Druck den Steuerstabantriebsraum oder Schleusen an diesem Raum wahrscheinlich erheblich beschädigen wird. Ungeachtet der Frage nach dem Abheben des RDB ist daher von einem Versagen des SHB auf diesem Wege auszugehen.

7.6.3.2 Beispiele zum SHB-Versagen als Folge des Versagens des RDB unter hohem Druck

7.6.3.2.1 Annahme „RDB Rakete“

In /BMF 90, S. 662/ wird angenommen, dass der RDB des DWR Biblis-B bei Leckgrößen von mehr als 10 m² und einem RDB-Druck von mehr als 8-10 MPa aus seiner Verankerung reißt und in Folge ein SHB-Versagen verursacht.

7.6.3.2.2 Direct Containment Heating entsprechend Abschnitt 7.6.2.2 A):

Die folgende, am Beispiel des EPR durchgeführte Abschätzung kann, unter Berücksichtigung der großen Bandbreiten für die einzelnen Parameter, auch als Anhaltswert für andere DWR genommen werden.

Rechnungen mit MAAP4 ergaben als möglichen Zustand vor RDB-Versagen unter hohem Druck (17 MPa):

Masse der Schmelze im unteren Plenum: 60 Mg

Potenzial für zusätzlich H₂ Produktion: 900 kg H₂

zuvor im SHB befindlicher Wasserstoff 250 kg.

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Druckaufbaus im SHB wurde mit Hilfe eines Monte-Carlo Programms ermittelt unter folgenden Annahmen:

Masse der Schmelze: Gauss-Verteilung mit sigma = 0,2 um 60 Mg

Wirksamkeit des Wärmeeintrags in die Atmosphäre: 0,5, d.h. 50 % der gespeicherten Energie wird der SHB-Atmosphäre zugeführt, mit sigma = 0,3. Bei den DISCO-Experimenten des FZK wurde bei RDB Drücken um 1 MPa unter verschiedener Geometrie (offen, geschlossen) ein Eintrag der dispergierten Schmelze von 50 bis 66 % in den Kuppelbereich gemessen /MEY 03a/, /MEY 03b/. Daraus ergibt sich unter adiabater Bedingung ohne Zr Oxidation und H₂ Verbrennung ein Druck von 0,5 MPa (best estimate) mit 5 % Fraktile 0,48 MPa, 95 % Fraktile 0,68 MPa.

Unter Berücksichtigung der Wärmemenge der exothermen Zr Oxidation (mit Dampf) ohne H₂ Verbrennung ergibt sich ein best estimate Druck von 0,68 MPa mit 5 % Fraktile 0,6 MPa, 95 % Fraktile 1 MPa. Dabei wurde auch die verfügbare Zr Masse mit sigma = 0,2 variiert.

Unterstellt man zusätzlich eine Wasserstoffverbrennung – Variation von Dampfgehalt, Wasserstoffmasse und Temperatur mit sigma = 0,1 – so ergibt sich ein best estimate Druck von 1,05 MPa (5 % Fraktile 0,8 MPa, 95 % Fraktile 1,3 MPa). Dabei ist angenommen, dass der gesamte Wasserstoff verbrennt, unabhängig vom Dampfgehalt des SHB. Für den EPR SHB ergibt sich daraus eine Versagenswahrscheinlichkeit von 0,28.

Für den kleineren SHB der Konvoi-Anlagen ergibt sich bei Skalierung des SHB-Volumens eine Versagenswahrscheinlichkeit von 0,44 (statt 0,28) mit Verbrennung und 0,04 ohne Verbrennung. Variiert man die Wirksamkeit des Wärmeeintrags (20 % statt 50 %), der implizit auch die Rückhaltung fragmentierter Schmelze in der Grube beinhaltet, so reduziert sich für Konvoi die Versagenswahrscheinlichkeit auf 0,32.

Im Rahmen einer PSA können die Werte mit Verbrennung als Obergrenze (95 % Fraktile) angenommen werden. Als 50 % Fraktile kann der Wert ohne Verbrennung benutzt werden. Konservative Annahmen betreffen:

- den angenommenen Wirkungsgrad des direkten Wärmeeintrags (50 %),
- die adiabate Randbedingung,
- den vollständigen Austrag der verfügbaren Schmelze aus der Grube in den oberen Bereich des SHB.

Realistisch ist die verwendete Versagenskurve des SHB (0,5 Versagenswahrscheinlichkeit bei 1,05 MPa).

7.6.3.2.3 Beispiel zur DCH Belastung bei Konvoi entsprechend Abschnitt 7.6.2.2 B):

Tabelle 7-3: SHB-Druck als Folge von Schmelze- und Wasserstoffeintrag (aus /LOE 00/)

Allgemeine Annahmen:

Anfangsdruck im SHB: 0,3 MPa
Anfangstemperatur im SHB: 450 K
Gesamte ausgestoßenen Kernmasse: 150.000 kg
Anfangstemperatur der Schmelze: 3000 K
Wasserstoffzufuhr in den Anlagenraum: 400 kg

Angenommener Schmelzeanteil im Anlagenraum	Angenommener Schmelzeanteil in der Kuppel	Resultierende Temperatur im Anlagenraum (K)	Resultierende Temperatur in der Kuppel (K)	Resultierender SHB-Druck (MPa)
0	0	450	450	0,31
0,05	0,05	659	559	0,40
0,1	0,1	836	659	0,48
0,1	0,2	836	836	0,55

Die Daten in Tabelle 7-3 beziehen sich ausschließlich auf den Druckbeitrag durch Temperaturerhöhung und Wasserstoffeintrag. In /LOE 00/ wurde zur Bestimmung der SHB-Belastung zusätzlich eine potenzielle Wasserstoffverbrennung und der Druckbeitrag durch Wasserdampf berücksichtigt.

7.6.3.2.4 Beispiel zu Abschnitt 7.6.2.2 C):

Am Beispiel der US-Anlage Zion (mit großem Instrumentierungskanal, der die Grube mit dem SHB verbindet) liegt der Spitzenwert des Verhältnisses von Entsicherungszeit zur Ausströmzeit der Schmelze bei 0,15 und der Spitzenwert des Druckes bei 0,3 MPa /PIL 96/.

7.6.4 Empfehlung

7.6.4.1 RDB-Versagen

Die Sandia Experimente /SAN 98/ interpretierend werden folgende Annahmen zur Leckfläche bei Versagen des RDB unter hohem Innendruck (>8 MPa) jeweils als Dreiecksverteilung empfohlen:

a) keine Durchführungen (DWR)

5 % Fraktile: 0,04 m²
50 % Fraktile: 0,3 m²
95 % Fraktile: 3,6 m².

b) mit Durchführungen (SWR)

5 % Fraktile 50 cm²
50 % Fraktile 0,05 m² (10 Durchführungen)
95 % Fraktile 3,6 m².

7.6.4.2 Versagen des SHB durch Trümmer

Die Wahrscheinlichkeiten für SHB-Versagen betragen abgeschätzt:

- falls RKL-Druck bei RDB-Versagen $> 8 \text{ MPa}$ und großflächiges ($> 3,6 \text{ m}^2$) RDB-Versagen:
0,9 SHB-Versagen
0,1 kein SHB-Versagen
- falls RKL-Druck bei RDB-Versagen $> 8 \text{ MPa}$ und kein großflächiges ($< 3,6 \text{ m}^2$) RDB-Versagen:
0,1 SHB-Versagen
0,9 kein SHB-Versagen.

7.6.4.3 Versagen des SHB durch DCH

Die Versagenswahrscheinlichkeiten sind anlagentypspezifisch nach einer der oben angeführten Methode zu ermitteln. Dabei liefern die in den obigen Beispielen 1 und 2 angeführten Werte konservative, die Methode 3 mehr realistische Abschätzungen. In jedem Fall sind alle folgenden Druckbeiträge zu berücksichtigen:

- Erhitzung der Sicherheitsbehälteratmosphäre durch Kernmaterialpartikel,
- Zirkon-Oxidation,
- Wasserstoffverbrennung (falls zündbare Gemische entstehen),
- Wasserdampf aus dem RDB.

7.7 KÜHLBARKEIT VON WASSERÜBERDECKTEN KERN-MATERIALIEN

7.7.1 Beschreibung

Kernmaterial gelangt nach dem Versagen des RDB-Bodens in den SHB. Ohne Wasserüberdeckung sind reaktortypische Mengen an Kernmaterial nicht kühlbar, d.h. sie werden den Sicherheitsbehälterboden – sei er aus Stahl oder Beton – auf Dauer durchdringen.

Wenn eine Wasserüberdeckung besteht – z.B. bei einer bereits bei RDB-Versagen gefluteten Reaktorgrube oder bei späterem Zutritt von (Sumpf-)Wasser – ist zu ermitteln, ob die Kernmaterialien kühlbar sind und daher ihre Unterlage nicht weiter erodieren.

Eine von Wasser überdeckte poröse Schüttung aus erstarrten Kernmaterialpartikeln hat von allen möglichen Anordnungen die potenziell beste Kühlbarkeit, und es gibt zu diesem Thema einen guten experimentellen Kenntnisstand. Es wird nachfolgend beschrieben, wie diese Kühlbarkeit bewertet werden kann.

Bei der Bewertung des erwünschten Effekts der Kühlbarkeit ist allerdings auch das Risiko einer ex-vessel Dampfexplosion zu bewerten, wenn Kernmaterial aus dem RDB in eine Wasservorlage fällt. Dies gilt insbesondere für SWR-Schmelze mit ihrem hohen Metallanteil. Außerdem ist mit einer starken Produktion von Wasserstoff durch Oxidation des metallischen Zr zu rechnen. Aus den im Argonne National Lab (ANL) durchgeführten ZREX-Experimenten zur Schmelzewasserwechselwirkung bei hohem Zr Gehalt der Schmelze /CHO 98/ ist zu schließen:

- Dampfexplosion trat nur bei externer (absichtlich hervorgerufener) Triggerung auf.

- Die freigesetzte mechanische Energie entsprach 2 bis 3 % der Energie der Schmelze (bezogen auf die thermische Energie und die chemische Energie aus der möglichen Zr Oxidation).
- Die produzierte Wasserstoffmenge entsprach 70 bis 100 % des gesamten Zr Inventars im Falle einer Explosion 70 bis 100 %, andernfalls 5 bis 25 %.

7.7.2 Methode zur Bewertung der Kühlbarkeit

Zur Kennzeichnung der Kühlbarkeit wird üblicherweise der „dryout heat flux“ (Austrocknungs-Wärmefluss) verwendet. Das ist diejenige auf die Grundfläche der Schüttung bezogene Wärmeleistung, bei der eine zunächst vollständig mit Wasser benetzte Schüttung lokal erste Austrocknung zeigt. Mit dem Austrocknen ist eine erhebliche Verschlechterung der Wärmeabfuhr verbunden, so dass nach dem Austrocknen die Temperatur stark ansteigt, und letztlich mit einem Aufschmelzen der Partikel gerechnet werden muss.

Die von verschiedenen Experimentatoren gemessenen Austrocknungs-Wärmeflüsse zeigen folgende wesentlichen Abhängigkeiten:

- Homogene Schüttungen, die nur aus einer Partikelgröße bestehen, haben höhere Austrocknungs-Wärmeflüsse als heterogene Schüttungen. Typische Werte für diese Wärmeflüsse liegen im Bereich um 1 MW/m^2 (für Partikeldurchmesser um 4 mm) bzw. um $0,4 \text{ MW/m}^2$ (für Partikeldurchmesser um 1 mm).
- Heterogene vermischte Schüttungen mit verschiedenen Partikelgrößen haben geringere Austrocknungs-Wärmeflüsse als homogene Schüttungen.
- Geschichtete Schüttungen (d.h. kleinere Partikel liegen über größeren) haben einen sehr stark reduzierten Austrocknungs-Wärmefluss bis hinunter zu $0,05 \text{ MW/m}^2$.

Kernmaterialanordnungen am Boden des SHB sind von Anfang an nicht homogen. Kleine Partikel können zwischen und auf der Schüttung vorhanden sein, und so die Kühlbarkeit reduzieren. Andererseits ist es möglich, dass kleine Partikel durch Konvektionsvorgänge aus der Schüttung ausgeschwemmt werden.

Der Zustand der Kernmaterialanordnung unter Wasser ist unsicher. Deswegen ist eine Verteilung zwischen gut und schlecht kühlbaren Schüttungen anzunehmen.

Zur Ermittlung der Wärmeleistung in der Schüttung ist von der Nachwärmeleistung auszugehen. Es ist zulässig, diese Wärmeleistung um den Beitrag flüchtiger Radionuklide zu reduzieren.

Die Kernmaterialbelegung ist sehr wahrscheinlich nicht gleichmäßig. Vielmehr ist davon auszugehen, dass lokale Anhäufungen vorliegen. Ferner ist zu prüfen, ob sich unter der Schüttung Vertiefungen befinden (z.B. ein Pumpensumpf), in denen die Belastung mit Kernmaterial erhöht ist.

7.7.3 Beispiel

Für einen Konvoi-Reaktor wurde abgeschätzt, dass eine Partikelschüttung in der Reaktorgrube nicht kühlbar ist, weil bereits die auf die Grube bezogene mittlere Nachwärmeleistung (abzüglich des Beitrags flüchtiger Radionuklide) den Austrocknungs-Wärmefluss überschreitet. Beim SWR können die Kernmaterialien einen Pumpensumpf von ca. 1 m Tiefe und 1 m^2 Querschnitt erreichen. Diese Stelle ist mit Sicherheit nicht kühlbar.

7.7.4 Empfehlung

Der Austrocknungs-Wärmefluss einer Partikelschüttung aus Kernmaterial unterhalb des RDB ist entsprechend einer Gleichverteilung anzusetzen zwischen:

95 % Fraktile 1 MW/m²

50 % Fraktile 0,2 MW/m²

5 % Fraktile 0,05 MW/m².

Die Nachwärmeleistung in der Partikelschüttung kann – gegenüber dem Inventar zum Zeitpunkt der Abschaltung – um den Beitrag flüchtiger Nuklide (ca. 30 % der gesamten Wärmeleistung) reduziert werden.

Die gesamte Kernmaterialmasse verlässt den RDB. Selbst wenn dies nicht unmittelbar bei RDB-Versagen geschieht, ist dies dennoch im weiteren Verlauf zu erwarten. Eine Austragung von Kernmaterial in andere Bereiche kann berücksichtigt werden, wenn dies begründet wird (z.B. bei Hochdruckversagen des RDB).

Die Verteilung der Kernmaterialien unterhalb des RDB ist nicht gleichmäßig auf der zur Verfügung stehenden Fläche. Lokale Schichtdicken können den zweifachen Wert der mittleren Schichtdicke annehmen.

Konstruktiv bedingte besonders hohe Schichtdicken (z.B. in einem Pumpensumpf) sind zu berücksichtigen.

7.8 KERNMATERIAL-BETON-WECHSELWIRKUNG

7.8.1 Beschreibung

Wenn das auf eine Betonunterlage geratene Kernmaterial nicht kühlbar ist (siehe vorangehender Abschnitt), wird eine Schmelze-Beton-Wechselwirkung einsetzen. Dabei sind vor allem folgende Vorgänge von Bedeutung:

- Freisetzung von gasförmigen Erosionsprodukten (CO₂, CO, Dampf und Wasserstoff), die zum Druckaufbau beitragen.
- Erosion des Fundaments bis zu dessen eventuellem Durchschmelzen.

Die Schmelztemperatur des Betons liegt mit ca. 1575 K (je nach Zusammensetzung) um mehr als 1000 K unter der Schmelztemperatur von reinem Kernbrennstoff und um rund 200 K unter derjenigen von Stahl /BMF 90, S. 634/. Deswegen würde z.B. Beton schmelzen, auf dem eine ausreichend heiße aber noch feste Menge an Kernmaterial liegt.

Zur Vermeidung oder Beendigung einer Betonzersetzung genügt es daher nicht, das darüber liegende Kernmaterial bis zu seinem Erstarrungspunkt abzukühlen, sondern es muss darunter liegende Temperaturen aufweisen. Eine Anordnung von Kernmaterial, die an ihrem Boden diese Bedingung erfüllt, ist eine unter Wasser befindliche, dauerhaft nicht ausgetrocknete Partikelschüttung. Im vorhergehenden Abschnitt ist angegeben, wie diese Kühlbarkeit zu bewerten ist.

Trotz großer experimenteller und theoretischer Anstrengungen, etwa im Rahmen des MACE Programms, ist es derzeit äußerst schwierig, das Ausmaß einer einmal begonnenen Schmelze-Beton Wechselwirkung vorherzusagen und damit die Frage der Fundamentdurchdringung mit guter Zuverlässigkeit zu beantworten. Zwei Aspekte sind dabei zu bewerten:

1. Kann die im Kernmaterial erzeugte und nach unten abzuführende Nachwärmeleistung allein durch Wärmeleitung in den Beton, also ohne diesen aufzuschmelzen, eingetragen werden?
2. Kann eine anfänglich nicht kühlbare Konfiguration durch Wasserüberdeckung (langfristig) in eine kühlbare Konfiguration überführt werden, die Schmelze-Beton-Wechselwirkung also gestoppt werden?

7.8.2 Methode zur Bewertung der Schmelze-Beton-Wechselwirkung

Ein grundlegender Parameter für die Bewertung ist die flächenbezogene Wärmeleistung der Kernmaterialien. Hierin gehen die Faktoren Nachwärmeleistung und Massenbelegung ein. Für die Nachwärmeleistung kann – analog zur Bewertung der Kühlbarkeit von Partikelschüttungen – der Anteil flüchtiger Radionuklide vernachlässigt werden. Bei der Massenbelegung sind ebenfalls analog zu den Partikelschüttungen lokale Anhäufungen oder Vertiefungen zu berücksichtigen.

Wenn die Kernmaterialien weitgehend geschmolzen sind, haben sie eine hohe Fließfähigkeit. Zur Ausbreitung einer Schmelze mit und ohne Wasserüberdeckung sind, insbesondere im Zusammenhang mit der EPR Entwicklung, eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt worden, die das gute Ausbreitungsverhalten bis zu Schichtdicken von wenigen cm demonstrierten (etwa KATS Experimente bei FZK /COG 99/, die COMAS Experimente von Siempelkamp /STE 99/). Eine unter Umständen zunächst unebene (teil-) erstarrte Anordnung von Kernmaterial hat daher beim weiteren Aufschmelzen das Potenzial, sich durch Fließvorgänge einzuebnen und/oder in weitere Bereiche vorzudringen.

Wenn die Kernmaterialien von Wasser überdeckt sind, kann evtl. eine Kühlbarkeit erreicht werden. Hierzu ist zunächst zu prüfen, ob die erforderliche langfristige Anwesenheit von Wasser gewährleistet ist. Verdampfung, Abfluss oder Abpumpen kann zum Wasserverlust führen, Erschöpfung von Wasservorräten oder Systemausfälle können eine Nachspeisung unterbrechen.

Die Höhe des Wärmeflusses ist entscheidend für die Erosionsrate des Betons. Dabei stellt sich u.a. die Frage, ob eine über dem Kernmaterial liegende Wasserschicht diesen Wärmefluss und somit die Erosion zum Erliegen bringen kann. Verfügbare einschlägige Experimente (z.B. die MACE-Experimente aus dem US-Forschungszentrum ANL) geben dafür bisher keine ausreichenden Hinweise. Für eine wasserüberdeckte ausgebreitete Schmelze hat EPRI ein Kriterium zur langfristigen Kühlbarkeit empfohlen: die Fläche bezogen auf die gesamte nominale thermische Leistung des Reaktors muss größer als $0,02 \text{ m}^2/\text{MWth}$ sein /EPR 87/, /FAU 90/. Bezieht man dies auf die Nachwärmeleistung und berücksichtigt man, dass nicht die gesamte Nachwärmeleistung in der Kernschmelze anfällt, so lässt sich dieses Kriterium umrechnen in eine Kühlbarkeitsgrenze ab etwa $0,4 \text{ MW/m}^2$ thermische Leistung der Schmelze. Durchgeführte experimentelle und theoretische Untersuchungen, die etwa in /SEI 00/ dokumentiert sind, haben zu keiner eindeutigen Bewertung der Schmelze-Beton-Wechselwirkung bei Wasserüberdeckung geführt.

Wird keine Kühlbarkeit der Schmelze erreicht, so ist langfristig mit einer Fundamentdurchdringung zu rechnen, da die sich bildende untere Schmelzenoberfläche zu klein ist, um die nach unten in den Beton eintretende Wärme durch Wärmeleitung abzuführen. Die Zeiten bis zur Fundamentdurchdringung und die damit verbundenen Gasfreisetzungen aus dem Beton können mit integralen Rechenprogrammen oder im Rahmen von Detailanalysen (z.B. Rechenprogramm WECHSL) ermittelt werden.

Nach der Penetration des Fundaments ist der Austrag der zu diesem Zeitpunkt im SHB befindlichen luftgetragenen Aktivität durch Bodenrisse oder Gebäudedrainagen als der bestimmende Beitrag zur Freisetzung zu erwarten.

7.8.3 Beispiel

Für einen Konvoi-DWR sind vertikale Erosionsraten von silikatischem Beton unter einer Kernmaterialsicht wie folgt angesetzt worden /LOE 00/:

- Frühe Unfallphase (bis ca. 6h), ohne Wasserüberdeckung: 14 cm/h
- Spätere Unfallphase (nach ca. 6h), mit Wasserüberdeckung: 0 bis 13 cm/h
(Dreiecksverteilung mit Maximum bei 6 cm/h).

Die Gasfreisetzungen bei der Erosion sind erheblich. Es werden beispielsweise Wasserstoff im Bereich von 100 kg/h und Kohlenmonoxid im Bereich von 200 kg/h frei. Der entsprechende Druckaufbau (einschließlich Wasserdampf) liegt um 0,1 MPa / 10 h /GRS 01/. Die Erosionsraten von calzinitischem Beton betragen etwa die Hälfte.

7.8.4 Empfehlungen

Für die bei bestehenden Leistungsreaktoren typischen Verhältnisse muss davon ausgegangen werden, dass Kernmaterial ohne Wasserüberdeckung das Betonfundament vollständig penetriert. Die dabei freigesetzten Gase führen in der Regel zu einem Druckaufbau, der eine Druckentlastung des SHB erforderlich macht (DWR, SWR-72), oder die zu einer hohen Brandgefährdung im Reaktorgebäude führen (SWR-69). Die Rate der Erosion und der Gasfreisetzung ist abzuschätzen (z.B. über die in den Beton gerichtete Wärmeleistung und die Zersetzungsenthalpie des Betons) oder mit integralen Rechenprogrammen oder einem speziellen Rechenprogramm für die Betonerosion zu berechnen.

Bei der Penetration sollte ein großflächiges (Größenordnung 1 m²) Versagen des SHB mit bodennaher Freisetzung unterstellt werden. Der damit verbundene Quellterm hängt stark vom Druck im SHB ab, d.h. davon, ob bereits eine Druckentlastung durchgeführt worden ist.

Wenn eine Wasserüberdeckung besteht und ständig aufrecht erhalten werden kann, kann eine Unterbrechnung des Erosionsprozesses in Frage kommen, sobald die flächenbezogene Wärmeleistung im Bereich des o.g. EPRI-Kriteriums liegt. Wegen der bestehenden Unsicherheiten ist dieses Kriterium jedoch nicht als Punktwert zu verwenden, sondern es ist als Bestandteil einer Verteilung anzusehen. Wegen der Nähe des EPRI-Kriteriums zur Kühlbarkeitsgrenze einer Partikelschüttung kann für die Unterbrechnung der Betonerosion dasselbe Kriterium wie für die Partikelschüttung empfohlen werden:

95 % Fraktile 1 MW/m²

50 % Fraktile (best estimate) 0,2 MW/m²

5 % Fraktile 0,05 MW/m².

Wenn eine Wasserüberdeckung besteht, ohne dass eine Kühlbarkeit gegeben ist, sind Erosionsgeschwindigkeit und Gasfreisetzung in gleicher Weise wie ohne Wasserüberdeckung zu ermitteln. Die Erosionsgeschwindigkeit und die Freisetzung nichtkondensierbarer Gase sind dabei in der Regel ähnlich wie ohne Wasserüberdeckung, während aber ein zusätzlicher Dampfanteil hinzukommt.

7.9 DRUCKAUFBAU IM SHB

7.9.1 Beschreibung

Kann bei einem Kernschmelzunfall die produzierte Wärme nicht aus dem SHB abgeführt werden (Wärmeabfuhrsystem, gefilterte Druckentlastung), so heizt sich die Atmosphäre kontinuierlich auf. Da weniger Wärme als produziert an die Wände und den Sumpf (etwa durch Dampfkondensation) abgeführt werden kann, steigt der Druck im SHB an. Zusätzlich können bei einer Schmelze-Beton-Wechselwirkung nichtkondensierbare Gase entstehen und zum Druckaufbau beitragen. Der Versagensdruck, der typspezifisch zu ermitteln ist, wird im Falle eines großen SHB (DWR) erst nach Tagen, beim relativ kleinen SHB eines SWR bei Ausfall der Kondensationskammerkühlung schon nach Stunden erreicht.

7.9.2 Methode

Die Berechnung des langfristigen Druckaufbaus kann mit gängigen „lumped parameter“ Rechenprogrammen, wozu auch die im Hauptteil mehrfach erwähnten „Integrierten Rechenprogramme“ gehören, relativ einfach durchgeführt werden. Eine besonders feine Nodalisierung ist dabei nicht erforderlich. Der Druckaufbau hängt neben der zugeführten Wärme auch von der abgeführten Wärme (Volumen des SHB, Wandflächen im SHB (Stahl, Beton) und den Wärmesenken außerhalb des SHB (Reaktorgebäude)) ab. Größere Unsicherheit resultiert aus der mangelnden Kenntnis des Anteils der Nachwärmenergie, die zum Druckaufbau (und damit nicht zur Schmelze-Beton-Wechselwirkung) zur Verfügung steht. Dieser Anteil ist zeitabhängig und hängt auch von der Wasserüberdeckung und damit vom Zeitpunkt des Sumpfeinbruchs ab. Die Analyse der Schmelze-Beton-Wechselwirkung ist daher eine notwendige Voraussetzung für die Berechnung des Druckaufbaus im SHB. Da diese von der Betonsorte und der genauen Reaktorgrubengeometrie abhängt, ist von Fall zu Fall zu entscheiden, inwieweit anlagentypspezifische Untersuchungen ausreichend sind.

Der Prozess der Schmelze-Beton-Wechselwirkung bestimmt auch die Freisetzung nicht kondensierbarer Gase (CO , CO_2 , H_2). Da diese Gase mit hoher Temperatur freigesetzt werden, ist, falls Zündbarkeit gegeben, von einer kontinuierlichen Verbrennung auszugehen. Ferner beeinflussen die als Notfallmaßnahme eingeführten Rekombinatoren die Atmosphärenzusammensetzung. Gegebenenfalls ist zu prüfen, ob Verbrennungen außerhalb des SHB (Ringraum beim DWR, Druckentlastungssystem) die Freisetzung von Spaltprodukten beeinflussen können.

7.9.3 Beispiele

7.9.3.1 EPR

Die Bild 7-5 zeigt die Zeitspanne nach der ein bestimmtes Druckniveau im SHB erreicht wird in Abhängigkeit vom RDB-Versagenszeitpunkt und damit indirekt vom Energieeintrag in den SHB vor dem RDB-Versagen. Dieses Bild basiert auf einer Vielzahl von Szenarien. Danach werden 0,8 MPa frühestens nach 2,5 Tagen erreicht. Bei Störfällen mit frühem RDB-Versagen wird praktisch alle Energie in den SHB freigesetzt und der Druckanstieg ist entsprechend schnell; andererseits ist ein spätes RDB-Versagen mit einer deutlichen Wärmeabfuhr aus dem Primärkreis, etwa über die Dampferzeuger, verbunden; und entsprechend langsam ist der Druckaufbau im SHB.

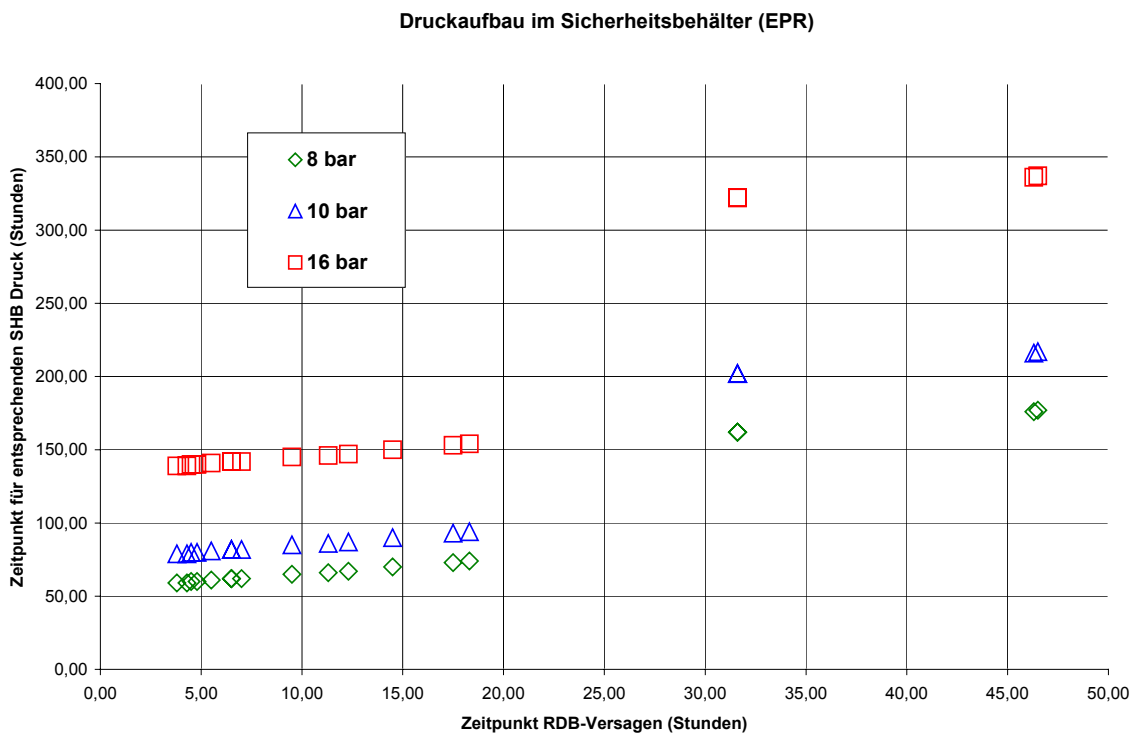


Bild 7-5: Zeitbereich für die Erreichung verschiedener Druckniveaus im EPR SHB

Wesentliche Randbedingungen:

- Containment-Volumen: 80000 m³,
- Betonoberflächen: 37000 m²,
- Thermische Reaktorleistung: 4500 MW,
- Keine Schmelze-Beton-Wechselwirkung (Schmelze-Rückhaltesystem vorhanden),
- Wasserstoff wird verbrannt oder rekombiniert,
- keine aktive Wärmeabfuhr aus dem SHB.

7.9.3.2 Konvoi

Für Konvoi wurden verschiedene Studien mit silikatischem Beton durchgeführt:

- A) Bei Konvoi werden im Falle eines mittleren Lecks (200 cm^2 im kalten Strang) 0,6 MPa nach 2 Tagen (kühlbare Konfiguration ohne Schmelze-Beton-Wechselwirkung) bzw. 6 Tagen (bei Schmelze-Beton-Wechselwirkung, wie mit WECHSL berechnet) erreicht. Der letzte Wert liegt bereits im unteren Unsicherheitsbereich der Fundamentdurchdringung. Im Falle der Schmelze-Beton-Wechselwirkung sind beim Erreichen von 0,6 MPa 38 % der insgesamt freigesetzten Wärmemenge zum Aufschmelzen des Betons verbraucht worden, 45 % in den Betonwänden gespeichert und 12 % in den Sumpf eingetragen. Der Rest befindet sich in der Atmosphäre bzw. ist durch Leckage entwichen.
- B) Zahlreiche integrale Analysen mit dem Rechenprogramm MELCOR zeigen Druckanstiegsgeschwindigkeiten während der Schmelze-Beton-Reaktion zwischen 12 kPa/h und 3 kPa/h. Hauptursache für die Streubreite sind die unterschiedlichen auslösenden Ereignisse und die sich daraus ergebenden unterschiedlichen zeitlichen und thermodynamischen Randbedingungen.

7.9.4 Empfehlung

7.9.4.1 Bestimmung des Zeitbereiches bis zur Einleitung der Druckentlastung

Der Zeitbereich kann nur anlagenspezifisch für abdeckende Szenarien bestimmt werden. Basierend auf diesen Zeitbereich kann die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, um:

- die SHB-Druckentlastung durchzuführen (Operatormaßnahme),
- die Wärmeabfuhr wiederherzustellen (etwa Wiederverfügbarkeit von elektrischer Energie).

7.9.4.2 Überdruckversagen

Gelingt keine Wärmeabfuhr aus dem SHB und keine Druckentlastung, so steigt der Druck weiter an. Der weitere Druckanstieg ist dann anlagenspezifisch zu ermitteln und mit dem anlagentypspezifisch zu ermittelnden Versagensverhalten (Wahrscheinlichkeit des SHB Versagens in Abhängigkeit vom Druck bzw. vom möglichem Leckquerschnitt in Abhängigkeit vom Druck) zu vergleichen.

7.10 LITERATUR

- /ALS 00/ H. Alsmeyer (Hrsg.):
Proceedings of the OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability,
Karlsruhe, 15-18 November 1999
FZKA 6475, Mai 2000
- /BAS 96/ S. Basu and T. Ginsberg:
Reassessment of the potential alpha mode failure and review of the current understanding of broader fuel coolant issues,
NUREG/CR 1524, 1996
- /BMF 90/ Der Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) (Hrsg.):
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B,
Verlag TÜV-Rheinland GmbH, Köln, 1990
ISBN 3-88585-809-6
- /BRE 00/ W. Breitung et al:
SOAR on Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety,
NEA/CSNI/R(2000) 7, August 2000
- /BRE 95/ W. Breitung, R. Redlinger:
A Model for Structural Response to Hydrogen Combustion Loads in Severe Accidents,
Nuclear Technology, Vol. 111, Sep. 1995, pp 420-425
- /CHE 01/ W. Cherdron et al.:
ECO Steam Explosion Experiments on the Conversion of Thermal into Mechanical Energy,
Jahrestagung Kerntechnik '01, Dresden, 15. – 17. Mai 2001
- /CHE 02/ W. Cherdron et al.:
Report on the ECO-04 Steam Explosion Experiment with Significantly Increased Energy Conversion,
Jahrestagung Kerntechnik '02, Stuttgart, 14. – 16. Mai 2002
- /CHE 03/ W. Cherdron et al:
Progress in the ECO Steam Explosion Programme Experiment ECO-05,
Jahrestagung Kerntechnik'03, Berlin, 20. –22. Mai 2003
- /CHO 98/ D. H. Cho et al:
Experiments on Interactions between Zirconium-Containing Melt and Water,
NUREG/CR-5372
- /COG 99/ G. Cognet et al:
Corium Spreading and Coolability (CSC Project),
FISA-97 EU research on severe accidents
- /EPR 87/ Electric Power Research Institute:
Advanced Light Water Reactor Utility Requirement Document, Chapter 5,
EPRI, Palo Alto, California, April 1987

- /FAU 90/ Fauske&Associates Inc.:
Technical Support for the Debris Coolability Requirements for ALWR in the Utility/EPRI
Light Water Reactor Requirement Document,
DOE/ID-10278, June 1990
- /GRE 99/ H. Grebner et al.:
Weiterentwicklung der Analysetechnik und generische Analysen zum
Komponentenverhalten im Verbund für auslegungsüberschreitende Störfälle,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2678, Köln, Juni
1999
- /GRS 01/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit mbH:
Bewertung des Unfallrisikos fortschrittlicher Druckwasserreaktoren in Deutschland,
GRS-175, ISBN 3-931995-43-7, Oktober 2001
- /HOE 96/ A. Höfler et al.:
Numerische Simulation des strukturellen Verhaltens der Komponenten einer
DWR-Kühlkreislaufschleife unter außergewöhnlichen Belastungen,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2355, Köln, 1996
- /KRI 00/ R. Krieg et al.:
Load carrying capacity of the reactor vessel head under a corium slug impact from a
postulated in-vessel steam explosion,
Nucl. Eng. and Design Vol. 202 ,2000, pp. 179-196
- /LOE 00/ H. Löffler et al.:
Untersuchung auslegungsüberschreitender Anlagenzustände mittels
Ereignisbaumtechnik am Beispiel einer Konvoi-Anlage,
BMU-2002-594, November 2002
ISSN 0724-3316
- /MAG 01/ D. Magallon and I. Huhtiniemi:
Corium and melt quenching tests at low pressure and subcooled water,
Nucl. Eng. and Design Vol. 204, 2001, pp. 369-376
- /MAY 88/ F. Mayinger et al.:
Derzeitiger Wissenstand über den Verlauf der Grenze für den Übergang einer
Deflagration in eine Detonation (DDT) im Dreistoffdiagramm Wasserstoff/ Luft/
Wasserdampf nach Shapiro-Mofette,
BMU Vorhaben SR 403, 1988
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05
- /MEY 03a/ L. Meyer et al:
Corium Dispersion and direct Containment Heating Experiments at Low System
Pressure,
Proc. 10th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics
(NURETH-10), Seoul, Korea, Octobre 5-9, 2003

- /MEY 03b/ L. Meyer et al.:
Low-Pressure Corium Dispersion Experiments with Simulant Fluids in a Scaled Annular Cavity,
Nuclear Technology, Vol. 141, March 2003
- /MPA 99/ Material-Prüfungs-Anstalt Stuttgart:
Ermittlung und Modellierung des Werkstoffverhaltens von Reaktorbaustählen unter mehrachsialer Beanspruchung für den auslegungsüberschreitenden Temperaturbereich von 400°C bis 1000°C,
MPA Stuttgart, Abschlußbericht zum RS-Vorhaben 1501010, Juni 1999
- /NRC 90/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC):
Severe Accident Risks: An Assessment for five U.S. Nuclear Power Plants,
NUREG 1150, December 1990
- /PIL 96/ M. Pilch et al.:
Resolution of the Direct Containment Issue for all Westinghouse Plants with large dry Containments or subatmospheric Containments,
NUREG/CR-6338, 1996
- /SAN 98/ Chu, T.Y., Pilch M.M. , Bentz, J.H., et al.
Lower head failure experiments and analysis,
SAND 98-2047, NUREG/CR-5582, Februar 1999
- /SEI 00/ J. M. Seiler et al.:
European "Group for Analysis of Corium Recovery Concepts – EUROCORE,
Multiphase Science and Technology Vol. 12, 2000, No 2, p 117 – 257,
- /SON 01/ M. Sonnenkalb et al.:
Bewertung von Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes zur Schadensbegrenzung für LWR,
Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-2921, September 2001
- /STE 99/ W. Steinwarz et al.:
COMAS,
Project final Report (4th EU Framework programme on Nuclear Fission Safety, EXV-COMAS(99)-D27
- /STR 99/ D. Struwe et al.:
Consequence Evaluation of In-vessel Fuel coolant Interaction in the European Pressurized Water Reactor,
FZK Final Report No 6316, 1999
- /SWA 86/ Alain Swain:
Accident Sequence Evaluation Program: Human Reliability Analysis Procedure,
NUREG/CR 4772, SAND86-1996, February 1986
- /VES 03/ A. Vesper et al:
Flame Acceleration in Vented Tubes,
Proc. 19th ICDERS Conference, Hakue, Japan, July 14 - August 1, 2003

ANHANG A: Generische GVA-Wahrscheinlichkeiten

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

INHALTSVERZEICHNIS	2
TABELLENVERZEICHNIS.....	5
A 1 VORGEHENSWEISE BEI DEN BERECHNUNGEN.....	15
A 1.1 BERECHNUNGSPROGRAMM	15
A 1.2 GVA-QUELLEN UND KOMPONENTENABGRENZUNG	15
A 1.3 GVA-EREIGNISSE	16
A 1.4 EREIGNISSEZIFISCHE BEWERTUNGSRANDBEDINGUNGEN	17
A 1.5 ERGEBNISDARSTELLUNG.....	19
A 2 ERGEBNISSE FÜR BESTIMMTE KOMPONENTEN	20
A 2.1 ABSPERRSCHIEBER.....	20
<i>A 2.1.1 Komponentenpopulation Absperrschieber</i>	<i>20</i>
<i>A 2.1.2 Ausgewertete Quellen für Absperrschieber</i>	<i>20</i>
<i>A 2.1.3 Randbedingungen für Absperrschieber</i>	<i>20</i>
<i>A 2.1.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrschieber</i>	<i>22</i>
A 2.2 ABSPERRVENTIL (WASSERFÜHRENDE SYSTEME).....	27
<i>A 2.2.1 Komponentenpopulation Absperrventil</i>	<i>27</i>
<i>A 2.2.2 Ausgewertete Quellen für Absperrventil.....</i>	<i>27</i>
<i>A 2.2.3 Randbedingungen für Absperrventil.....</i>	<i>27</i>
<i>A 2.2.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrventil (Wassersystem)</i>	<i>29</i>
A 2.3 ABSPERRVENTIL (DAMPFFÜHRENDE SYSTEME)	38
<i>A 2.3.1 Komponentenpopulation Absperrventil</i>	<i>38</i>
<i>A 2.3.2 Ausgewertete Quellen für Absperrventil.....</i>	<i>38</i>
<i>A 2.3.3 Randbedingungen für Absperrventil.....</i>	<i>38</i>
<i>A 2.3.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrventil (Dampfsystem)</i>	<i>38</i>
A 2.4 ABSPERRKLAPPE	41
<i>A 2.4.1 Komponentenpopulation Absperrklappe</i>	<i>41</i>
<i>A 2.4.2 Ausgewertete Quellen für Absperrklappe</i>	<i>41</i>
<i>A 2.4.3 Randbedingungen für Absperrklappe</i>	<i>41</i>
<i>A 2.4.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrklappe</i>	<i>42</i>
A 2.5 REGELVENTIL.....	51
<i>A 2.5.1 Komponentenpopulation Regelventil</i>	<i>51</i>
<i>A 2.5.2 Ausgewertete Quellen für Regelventil.....</i>	<i>51</i>
<i>A 2.5.3 Randbedingungen für Regelventil.....</i>	<i>51</i>
<i>A 2.5.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Regelventil</i>	<i>52</i>
A 2.6 FRISCHDAMPF-ABBLASEREGELVENTIL	59
<i>A 2.6.1 Komponentenpopulation FD-Abblaseregelventil.....</i>	<i>59</i>
<i>A 2.6.2 Ausgewertete Quellen für FD-Abblaseregelventil</i>	<i>59</i>
<i>A 2.6.3 Randbedingungen für FD-Abblaseregelventil</i>	<i>59</i>
<i>A 2.6.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für FD-Abblaseregelventil.....</i>	<i>60</i>
A 2.7 SICHERHEITSVENTIL	61
<i>A 2.7.1 Komponentenpopulation Sicherheitsventil.....</i>	<i>61</i>
<i>A 2.7.2 Ausgewertete Quellen für Sicherheitsventil</i>	<i>61</i>
<i>A 2.7.3 Randbedingungen für Sicherheitsventil</i>	<i>61</i>
<i>A 2.7.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Sicherheitsventil</i>	<i>62</i>
A 2.8 VORSTEUERVENTIL (FEDERBELASTET).....	63
<i>A 2.8.1 Komponentenpopulation Vorsteuerventil (federbelastet)</i>	<i>63</i>
<i>A 2.8.2 Ausgewertete Quellen für Vorsteuerventil (federbelastet)</i>	<i>63</i>

	Seite
A 2.8.3 Randbedingungen für Vorsteuerventil (federbelastet)	63
A 2.8.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Vorsteuerventil (federbelastet)	64
A 2.9 VORSTEUERVENTIL (MAGNETBETÄTIGT)	71
A 2.9.1 Komponentenpopulation Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	71
A 2.9.2 Ausgewertete Quellen für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	71
A 2.9.3 Randbedingungen für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	71
A 2.9.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	72
A 2.10 RÜCKSCHLAGVENTIL	81
A 2.10.1 Komponentenpopulation Rückschlagventil	81
A 2.10.2 Ausgewertete Quellen für Rückschlagventil	81
A 2.10.3 Randbedingungen für Rückschlagventil	81
A 2.10.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Rückschlagventil	82
A 2.11 RÜCKSCHLAGKLAPPE	84
A 2.11.1 Komponentenpopulation Rückschlagklappe	84
A 2.11.2 Ausgewertete Quellen für Rückschlagklappe	84
A 2.11.3 Randbedingungen für Rückschlagklappe	84
A 2.11.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Rückschlagklappe	85
A 2.12 WÄRMETAUSCHER	90
A 2.12.1 Komponentenpopulation Wärmetauscher	90
A 2.12.2 Ausgewertete Quellen für Wärmetauscher	90
A 2.12.3 Randbedingungen für Wärmetauscher	90
A 2.12.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Wärmetauscher	91
A 2.13 VENTILATOR	104
A 2.13.1 Komponentenpopulation Ventilator	104
A 2.13.2 Ausgewertete Quellen für Ventilator	104
A 2.13.3 Randbedingungen für Ventilator	104
A 2.13.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Ventilator	105
A 2.14 KREISELPUMPE	110
A 2.14.1 Komponentenpopulation Kreislumppe	110
A 2.14.2 Ausgewertete Quellen für Kreislumppe	110
A 2.14.3 Randbedingungen für Kreislumppe	110
A 2.14.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Kreislumppe	112
A 2.15 DIESELAGGREGATE	122
A 2.15.1 Komponentenpopulation Dieselaggregat	122
A 2.15.2 Ausgewertete Quellen für Dieselaggregate	122
A 2.15.3 Randbedingungen für Dieselaggregat	122
A 2.15.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Dieselaggregat	123
A 2.16 MESSROHRLEITUNG	127
A 2.16.1 Komponentenpopulation Messrohrleitung	127
A 2.16.2 Ausgewertete Quellen für Messrohrleitung	127
A 2.16.3 Randbedingungen für Messrohrleitung	127
A 2.16.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Messrohrleitung	128
A 2.17 DRUCKMESSUMFORMER	137
A 2.17.1 Komponentenpopulation Druckmessumformer	137
A 2.17.2 Ausgewertete Quellen für Druckmessumformer	137
A 2.17.3 Randbedingungen für Druckmessumformer	137
A 2.17.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Druckmessumformer	138
A 2.18 BATTERIE	147
A 2.18.1 Komponentenpopulation Batterie	147
A 2.18.2 Ausgewertete Quellen für Batterie	147
A 2.18.3 Randbedingungen für Batterie	147
A 2.18.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Batterie	147
A 2.19 RELAIS	150
A 2.19.1 Komponentenpopulation Relais	150
A 2.19.2 Ausgewertete Quellen für Relais	150
A 2.19.3 Randbedingungen für Relais	150

	Seite
A 2.19.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Relais	151
A 2.20 GRENZWERTGEBER.....	155
A 2.20.1 Komponentenpopulation Grenzwertgeber.....	155
A 2.20.2 Ausgewertete Quellen für Grenzwertgeber	155
A 2.20.3 Randbedingungen für Grenzwertgeber	155
A 2.20.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Grenzwertgeber.....	156
A 2.21 LEISTUNGSSCHALTER.....	161
A 2.21.1 Komponentenpopulation Leistungsschalter	161
A 2.21.2 Ausgewertete Quellen für Leistungsschalter.....	161
A 2.21.3 Randbedingungen für Leistungsschalter.....	161
A 2.21.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Leistungsschalter	161
A 3 LITERATUR.....	166

TABELLENVERZEICHNIS

Seite

Tabelle A 1.2-1:	Ausgewertete Komponenten und Anwendungszeiträume (Übersicht).....	15
Tabelle A 1.3-1:	In der Betriebserfahrung ermittelte Ereigniszahlen für die untersuchten Komponenten.....	16
Tabelle A 1.4-1:	Komponenten und bereits im Rahmen der PSÜ berücksichtigte Randbedingungen	17
Tabelle A 1.4-2:	Zusätzliche Randbedingungen für zehn Komponenten	18
Tabelle A 1.4-3:	Verwendete Randbedingungen.....	19
Tabelle A 2.1-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	20
Tabelle A 2.1-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	21
Tabelle A 2.1-3:	Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	23
Tabelle A 2.1-4:	Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	23
Tabelle A 2.1-5:	Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	24
Tabelle A 2.1-6:	Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	24
Tabelle A 2.1-7:	Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt).....	25
Tabelle A 2.1-8:	Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	25
Tabelle A 2.1-9:	Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	26
Tabelle A 2.1-10:	Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	26
Tabelle A 2.2-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	27
Tabelle A 2.2-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	28
Tabelle A 2.2-3:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	30
Tabelle A 2.2-4:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	30
Tabelle A 2.2-5:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	31

Tabelle A 2.2-6:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	31
Tabelle A 2.2-7:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	32
Tabelle A 2.2-8:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	32
Tabelle A 2.2-9:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	33
Tabelle A 2.2-10:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	33
Tabelle A 2.2-11:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	34
Tabelle A 2.2-12:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	34
Tabelle A 2.2-13:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	35
Tabelle A 2.2-14:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	35
Tabelle A 2.2-15:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	36
Tabelle A 2.2-16:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	36
Tabelle A 2.2-17:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	37
Tabelle A 2.2-18:	Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	37
Tabelle A 2.3-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	38
Tabelle A 2.3-2:	Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	39
Tabelle A 2.3-3:	Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	39
Tabelle A 2.3-4:	Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	40

Tabelle A 2.3-5:	Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	40
Tabelle A 2.4-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	41
Tabelle A 2.4-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	42
Tabelle A 2.4-3:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	43
Tabelle A 2.4-4:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	43
Tabelle A 2.4-5:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	44
Tabelle A 2.4-6:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	44
Tabelle A 2.4-7:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt).....	45
Tabelle A 2.4-8:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	45
Tabelle A 2.4-9:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	46
Tabelle A 2.4-10:	Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	46
Tabelle A 2.4-11:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	47
Tabelle A 2.4-12:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	47
Tabelle A 2.4-13:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	48
Tabelle A 2.4-14:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	48
Tabelle A 2.4-15:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	49
Tabelle A 2.4-16:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	49
Tabelle A 2.4-17:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	50
Tabelle A 2.4-18:	Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	50
Tabelle A 2.5-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	51
Tabelle A 2.5-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	52
Tabelle A 2.5-3:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	53
Tabelle A 2.5-4:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	53

Tabelle A 2.5-5:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	54
Tabelle A 2.5-6:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	54
Tabelle A 2.5-7:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt).....	55
Tabelle A 2.5-8:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt) ..	55
Tabelle A 2.5-9:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	56
Tabelle A 2.5-10:	Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	56
Tabelle A 2.5-11:	Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt).....	57
Tabelle A 2.5-12:	Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	57
Tabelle A 2.5-13:	Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	58
Tabelle A 2.5-14:	Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	58
Tabelle A 2.6-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	59
Tabelle A 2.6-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	60
Tabelle A 2.6-3:	Frischdampf-Abblaseregelventil, Ausfallart "Öffnet nicht".....	60
Tabelle A 2.7-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	61
Tabelle A 2.7-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	62
Tabelle A 2.7-3:	Sicherheitsventil, Ausfallart "Öffnet nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	62
Tabelle A 2.7-4:	Sicherheitsventil, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	62
Tabelle A 2.8-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	63
Tabelle A 2.8-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	64
Tabelle A 2.8-3:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	65
Tabelle A 2.8-4:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	65
Tabelle A 2.8-5:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	66

Tabelle A 2.8-6:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	66
Tabelle A 2.8-7:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	67
Tabelle A 2.8-8:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	67
Tabelle A 2.8-9:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	68
Tabelle A 2.8-10:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	68
Tabelle A 2.8-11:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	69
Tabelle A 2.8-12:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	69
Tabelle A 2.8-13:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	70
Tabelle A 2.8-14:	Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	70
Tabelle A 2.9-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	71
Tabelle A 2.9-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	72
Tabelle A 2.9-3:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	73
Tabelle A 2.9-4:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	74
Tabelle A 2.9-5:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	75
Tabelle A 2.9-6:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	76
Tabelle A 2.9-7:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", Abschätzung für hohe Redundanzen , Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	77
Tabelle A 2.9-8:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", Abschätzung für hohe Redundanzen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	78

Tabelle A 2.9-9:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	79
Tabelle A 2.9-10:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	79
Tabelle A 2.9-11:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	80
Tabelle A 2.9-12:	Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	80
Tabelle A 2.10-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	81
Tabelle A 2.10-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	81
Tabelle A 2.10-3:	Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	82
Tabelle A 2.10-4:	Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	82
Tabelle A 2.10-5:	Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	83
Tabelle A 2.10-6:	Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	83
Tabelle A 2.11-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	84
Tabelle A 2.11-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	85
Tabelle A 2.11-3:	Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	86
Tabelle A 2.11-4:	Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	86
Tabelle A 2.11-5:	Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	87
Tabelle A 2.11-6:	Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	87
Tabelle A 2.11-7:	Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	88
Tabelle A 2.11-8:	Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	88
Tabelle A 2.11-9:	Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	89
Tabelle A 2.11-10:	Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	89
Tabelle A 2.12-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	90
Tabelle A 2.12-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	91

Tabelle A 2.12-3:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	92
Tabelle A 2.12-4:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	93
Tabelle A 2.12-5:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	94
Tabelle A 2.12-6:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	95
Tabelle A 2.12-7:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauberwasser, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt).....	96
Tabelle A 2.12-8:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauberwasser, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	97
Tabelle A 2.12-9:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauberwasser, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	98
Tabelle A 2.12-10:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauberwasser, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	99
Tabelle A 2.12-11:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein Sauberwasser und Differenzdruckmessung und WKP, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	100
Tabelle A 2.12-12:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein Sauberwasser und Differenzdruckmessung und WKP, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	101
Tabelle A 2.12-13:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein Sauberwasser und Differenzdruckmessung und WKP, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	102
Tabelle A 2.12-14:	Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein Sauberwasser und Differenzdruckmessung und WKP, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	103
Tabelle A 2.13-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	104
Tabelle A 2.13-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	105
Tabelle A 2.13-3:	Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	105
Tabelle A 2.13-4:	Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	106
Tabelle A 2.13-5:	Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	107
Tabelle A 2.13-6:	Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	108
Tabelle A 2.13-7:	Ventilator, Ausfallart "Betriebsversagen", Ausfallraten in 1/h.....	109
Tabelle A 2.14-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	110

Tabelle A 2.14-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	111
Tabelle A 2.14-3:	Kreiselpumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	112
Tabelle A 2.14-4:	Kreiselpumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	113
Tabelle A 2.14-5:	Kreiselpumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	114
Tabelle A 2.14-6:	Kreiselpumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	115
Tabelle A 2.14-7:	Kreiselpumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	116
Tabelle A 2.14-8:	Kreiselpumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	117
Tabelle A 2.14-9:	Kreiselpumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	118
Tabelle A 2.14-10:	Kreiselpumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	119
Tabelle A 2.14-11:	Kreiselpumpe, Ausfallart "Betriebsversagen", konservativ abdeckende Randbedingungen, Ausfallraten in [1/h]	120
Tabelle A 2.14-12:	Kreiselpumpe, Ausfallart "Betriebsversagen", Trockene Aufstellung mit getrennter Ansaugung oder gesicherter Zulauf höhe, Ausfallraten in [1/h]	121
Tabelle A 2.15-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	122
Tabelle A 2.15-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	123
Tabelle A 2.15-3:	Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	124
Tabelle A 2.15-4:	Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	124
Tabelle A 2.15-5:	Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	125
Tabelle A 2.15-6:	Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	125
Tabelle A 2.15-7:	Dieselaggregat, Ausfallart "Betriebsversagen", konservativ abdeckende Randbedingungen, Ausfallraten in [1/h]	126
Tabelle A 2.16-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	127
Tabelle A 2.16-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	128
Tabelle A 2.16-3:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	129
Tabelle A 2.16-4:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	130

Tabelle A 2.16-5:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate).....	131
Tabelle A 2.16-6:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr).....	132
Tabelle A 2.16-7:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	133
Tabelle A 2.16-8:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	134
Tabelle A 2.16-9:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	135
Tabelle A 2.16-10:	Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	136
Tabelle A 2.17-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	137
Tabelle A 2.17-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	138
Tabelle A 2.17-3:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	139
Tabelle A 2.17-4:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	140
Tabelle A 2.17-5:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	141
Tabelle A 2.17-6:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	142
Tabelle A 2.17-7:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	143
Tabelle A 2.17-8:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt).....	144
Tabelle A 2.17-9:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	145
Tabelle A 2.17-10:	Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	146
Tabelle A 2.18-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten.....	147
Tabelle A 2.18-2:	Batterie, Ausfallart "Keine Spannung", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	148
Tabelle A 2.18-3:	Batterie, Ausfallart "Keine Spannung", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	148

Tabelle A 2.18-4:	Batterie, Ausfallart "Keine Spannung", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	149
Tabelle A 2.18-5:	Batterie, Ausfallart "Keine Spannung", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	149
Tabelle A 2.19-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	150
Tabelle A 2.19-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	150
Tabelle A 2.19-3:	Relais, Ausfallart "Schaltet nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	151
Tabelle A 2.19-4:	Relais, Ausfallart "Schaltet nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	152
Tabelle A 2.19-5:	Relais, Ausfallart "Schaltet nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	153
Tabelle A 2.19-6:	Relais, Ausfallart "Schaltet nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	154
Tabelle A 2.20-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	155
Tabelle A 2.20-2:	Ereignisse und verwendete Randbedingungen	155
Tabelle A 2.20-3:	Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht",- konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	157
Tabelle A 2.20-4:	Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	158
Tabelle A 2.20-5:	Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	159
Tabelle A 2.20-6:	Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	160
Tabelle A 2.21-1:	Ereignisse und betrachtete Ausfallarten	161
Tabelle A 2.21-2:	Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)	162
Tabelle A 2.21-3:	Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)	163
Tabelle A 2.21-4:	Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)	164
Tabelle A 2.21-5:	Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)	165

A 1 VORGEHENSWEISE BEI DEN BERECHNUNGEN

A 1.1 BERECHNUNGSPROGRAMM

Die Berechnung der GVA-Wahrscheinlichkeiten wurden mit dem Programm PEAK Version 4.4.A durchgeführt, die zugehörige Fortran-DLL hat die Version 2. Die Beschreibung des aktuellen Stands des Kopplungsmodells, auf dem diese Programmversion basiert, ist im Anhang D des Methodenbandes /MET 05/ aufgeführt.

A 1.2 GVA-QUELLEN UND KOMPONENTENABGRENZUNG

Für die Identifizierung der GVA-Ereignisse wurden die deutsche und internationale Betriebserfahrung ausgewertet. In der folgenden Übersichts-Tabelle A 1.2-1 sind die ausgewerteten Komponenten und die entsprechenden Auswertungszeiträume zusammengestellt. Bei den Daten zu den einzelnen Komponenten (s. Abschnitt A 2) ist dann jeweils im Detail angegeben, auf welche Auswertungszeiträume und Komponentengruppen die einzelnen Berechnungen basieren.

Tabelle A 1.2-1: Ausgewertete Komponenten und Anwendungszeiträume (Übersicht)

Ausgewertete Komponenten	Deutsche Betriebserfahrung	Internationale Betriebserfahrung
Alle Komponenten	Aufnahme Betrieb bis 15.06.1985	Aufnahme Betrieb bis 15.06.1985
Zusätzliche Auswertungen		
Druckmessung (Messrohrleitung, Messumformer und Grenzwertgeber)	Aufnahme Betrieb bis 1995	
Absperrschieber	1989 bis 1994	
Absperrventil	1989 bis 1994	
Abblaseregelventil	Aufnahme Betrieb bis 1998	
Kreiselpumpe	1990 bis 1994	
Notstromdiesel	1994 bis 1998	
Sicherheits- und Entlastungsventil (inklusive Vorsteuerventil)	1994 bis 1998	
Batterie	Aufnahme Betrieb bis 1996	

Die Festlegung der Komponentenabgrenzung erfolgte entsprechend der Ermittlung von anlagenspezifischen Zuverlässigkeitskenngrößen /MET 05/. Bei der Festlegung der Komponentenabgrenzung für die Druckmessung wurde hiervon abweichend eine weitere Unterscheidung in folgende Betrachtungseinheiten durchgeführt:

- Messrohrleitung
- Messumformer
- Grenzwertgeber

Diese weitere Aufteilung erfolgte im Rahmen der SWR-Sicherheitsanalyse /GRS 93/, um den Aufbau der Messwerterfassung des RDB-Füllstands hinsichtlich der Zuordnung der Messumformer zu einzelnen Messrohrleitungen und die Zuordnung der Grenzwertgeber zu diversitären Gruppen von Messumformern in den Fehlerbäumen detaillierter modellieren und mit GVA-Wahrscheinlichkeiten belegen zu können.

A 1.3 GVA-EREIGNISSE

Für die Bewertung der in diesem Bericht betrachteten Komponenten wurden 169 GVA-Ereignisse für die Berechnung ausgewählt. Für jedes Ereignis wurden Abschätzungen von sechs Experten der GRS zu Schädigungsgraden und zum Übertragbarkeitsfaktor abgegeben. In Tabelle A 1.3-1 sind für alle zu betrachtenden Komponenten die Anzahl der GVA-Ereignisse und die Verteilung auf die drei Quellen Biblis B, Meldepflichtige Ereignisse (ME) und Internationale Betriebserfahrung aus dem Incident Reporting System (IRS) angegeben.

Tabelle A 1.3-1: In der Betriebserfahrung ermittelte Ereigniszahlen für die untersuchten Komponenten

Komponente	BMA	Biblis B	ME	IRS
Absperrschieber	KAA	0	21	0
Absperrventil (Wassersystem)	KAB	0	9	(1)
Absperrventil (Dampfsystem)	KAB	0	2	0
Absperrklappe	KAC	0	2	2
Regelventil	KAE	5	0	0
Frischdampf-Abblaseregelventil	KAE	0	11	0
Sicherheitsventil	KAK	0	4	0
Vorsteuerventil (federbelastet)	KAK	0	10	0
Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	KAB	0	16	0
Rückschlagventil	KAN	0	2	0
Rückschlagklappe	KAP	0	4	5
Wärmetauscher	KCA	0	0	8
Ventilator	KNG	0	4	0
Kreiselpumpe (Startet nicht)	KPA	0	8	(1)
Kreiselpumpe (Betriebsversagen)	KPA	0	5	3
Dieselaggregat	MMD	0	16	0
Messrohrleitung	MRA	0	8	(1)
Messumformer für Druck	-BP	0	6	0

Komponente	BMA	Biblis B	ME	IRS
Batterie	-GF	0	2	0
Relais	-KZ	0	8	0
Grenzwertgeber	-NG	0	4	0
Leistungsschalter	-QA	0	1	0

Aus Tabelle A 1.3-1 ist ersichtlich, dass bei drei Komponenten (Absperrventil Wassersystem, Kreiselpumpe "Startet nicht", Messrohrleitung) jeweils nur ein Ereignis aus der internationalen Betriebserfahrung stammt. Da die Berechnungen so weit wie möglich auf der deutschen Betriebserfahrung beruhen sollen, wurden diese drei Ereignisse aus der internationalen Betriebserfahrung für die Berechnungen nicht berücksichtigt.

A 1.4 EREIGNISSEZIFISCHE BEWERTUNGSRANDBEDINGUNGEN

Bei der Bewertung der GVA-Ereignisse wurden zum Teil mehrere Randbedingungen eingeführt, um bei der Übertragung der GVA-Ereignisse die unterschiedlichen technischen und administrativen Gegebenheiten in deutschen Kernkraftwerken realistischer berücksichtigen zu können. In allen Fällen wurde zunächst jeweils die Randbedingung verwendet, die zu konservativ abdeckenden Werten führt.

In /MET 97/ wurden für einige Komponenten schon Randbedingungen berücksichtigt, die in Tabelle A 1.4-1 aufgeführt sind:

Tabelle A 1.4-1: Komponenten und bereits im Rahmen der PSÜ berücksichtigte Randbedingungen

Komponente	Randbedingung
Rückschlagventil, -klappe	Ständig durchströmt
	Selten durchströmt
Wärmetauscher	Rohrwärmetauscher
	Plattenwärmetauscher
Kreispumpe	Ohne Luftansaugung
	Mit Luftansaugung

Die Unterscheidung der Randbedingungen "Rohrwärmetauscher" und "Plattenwärmetauscher" bei der Komponente Wärmetauscher wurde bei der Neubewertung der GVA-Ereignisse aufgegeben und stattdessen eine Unterscheidung hinsichtlich der Wasserqualität eingeführt (siehe Abschnitt A 2.12). Alle anderen Randbedingungen gemäß Tabelle A 1.4-1 wurden auch bei der Neuberechnung der generischen GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt. Die verwendeten Randbedingungen werden in der Spalte "Verwendung" durch das Kürzel "FRB" (Fachband Randbedingung) gekennzeichnet.

Bei Randbedingungen, die unterschiedliche Bewertungen für "Anlagenzustand vor Anfahrprüfung" und "Anlagenzustand nach Anfahrprüfung" haben, wurde immer die Randbedingung für "Anlagenzustand nach Anfahrprüfung" verwendet, damit alle in diesem Bericht aufgeführten GVA-Wahrscheinlichkeiten für den Leistungsbetrieb der Anlage angewendet werden können. Die ver-

wendeten Randbedingungen werden in der Spalte "Verwendung" durch das Kürzel "PLB" (PSA für Leistungsbetrieb) gekennzeichnet.

Bei Randbedingungen, die unterschiedliche Anzahl der Komponenten innerhalb einer Komponentengruppe oder unterschiedliche Bewertungen in Abhängigkeit von der Länge der Testintervalle haben, wurden die jeweils zutreffenden Randbedingungen entsprechend der Ausfallkombinatorik (AFK) und des festgelegten Testintervalls bei der Berechnung berücksichtigt (siehe Abschnitt A 1.5). Die verwendeten Randbedingungen werden in der Spalte "Verwendung" durch das Kürzel "BRB" (Berechnung Randbedingungen) gekennzeichnet.

Bei allen anderen Randbedingungen wurden die Bewertungen verwendet, die zu konservativ abdeckenden Werten führen. Diese Randbedingungen sind in den entsprechenden Tabellen für die einzelnen Komponenten in der Spalte "Verwendung" mit dem Kürzel "KAR" (konservativ abdeckende Randbedingung) gekennzeichnet. Wurden bei der Bewertung der Ereignisse Randbedingungen eingeführt, die durch die Experten der GRS nicht unterschiedlich bewertet worden sind, so sind diese Randbedingungen in der Spalte "Verwendung" mit dem Kürzel "KUG" (keine Unterscheidung GRS) gekennzeichnet.

Tabelle A 1.4-2: Zusätzliche Randbedingungen für zehn Komponenten

Nr.	Komponente	Randbedingung
1	Absperrventil (wasserführende Systeme)	Absteuerung über Drehmoment in Öffnungsrichtung und Anfahrüberbrückung in Schließrichtung und verbessertes Prüfkonzept (Wirkleistungsmessung und Trendverfolgung)
2	Absperrklappe	Sauberwasser, jährlich geprüft
		Sauberwasser, monatlich geprüft
3	Regelventil	Nur für Sicherheitssystem
4	Vorsteuerventil (federbelastet)	Funktionsprüfung auf Prüfstand vorgeschrieben nach Instandhaltungsmaßnahme
5	Vorsteuerventil (magnetbetätigt)	monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad (Expertenschätzung)
6	Wärmetauscher	Medium Deionat
7	Wärmetauscher	Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen
8	Kreiselpumpe	Trockene Aufstellung und getrennte Ansaugung oder gesicherte Zulaufhöhe (keine Unterwasserpumpe)
9	Messrohrleitung	Sauberwasser und Erkennungsmöglichkeit vorhanden durch anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung
10	Messumformer	Messumformer, allgemein (keine Bartonzelle)

Weiterhin wurden zehn zusätzliche Randbedingungen berücksichtigt, die keinen konservativ abdeckenden Charakter haben, sondern weitgehend den technischen Gegebenheiten in den deutschen Kernkraftwerken entsprechen. Diese zehn zusätzlichen Randbedingungen sind in Tabelle A 1.4-2 aufgeführt. Diese Randbedingungen sind in den Tabellen der GVA-Ereignisse mit den entspre-

chenden Randbedingungen für die einzelnen Komponenten in der Spalte "Verwendung" mit dem Kürzel "ZRB" (zusätzliche Randbedingung) gekennzeichnet.

Bei Ereignissen, bei denen bei der Neubewertung der GVA-Ereignisse nur eine Randbedingung eingeführt worden ist, gibt es nur die Unterscheidung, ob das Ereignis bei der Berechnung zu berücksichtigen oder nicht zu berücksichtigen ist. Da die Berücksichtigung des Ereignisses generell zu konservativen Werten führt, werden diese Randbedingungen bei der Verwendung für die Neuberechnung mit dem Kürzel "KAR" gekennzeichnet. Bei drei zusätzlichen Randbedingungen aus der o. a. Tabelle (Nr. 3, Regelventil: "nur für Sicherheitssystem", Nr. 8, Kreiselpumpe: "keine Unterwasserpumpe" und Nr. 10, Messumformer: "keine Bartonzelle") wurde daher bei den entsprechenden GVA-Ereignissen (GVA-Nummer 00102, 00103, 00247 und 00571) eine zusätzliche Randbedingung "Ereignis nicht berücksichtigt" eingeführt und bei Nichtverwendung als zusätzliche Randbedingung mit dem Kürzel "ZRB" gekennzeichnet.

In Tabelle A 1.4-3 sind alle Kürzel für die verwendeten Randbedingungen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle A 1.4-3: Verwendete Randbedingungen

Kürzel	Erläuterung
FRB	Randbedingung, die bereits in dem Fachband zum PSA-Leitfaden berücksichtigt worden ist
PLB	Randbedingung für PSA Leistungsbetrieb
BRB	Randbedingung berücksichtigt bei der Berechnung (Anzahl der Redundanzen, Testintervall)
KAR	Konservativ abdeckende Randbedingung
ZRB	Zusätzliche Randbedingung nach Projektgespräch
KUG	Keine Unterscheidung durch GRS

Diese Kürzel dienen zur Kennzeichnung der verwendeten Randbedingungen in den komponentenspezifischen Abschnitten A 2.1 bis A 2.21 und sind in der Spalte "Verwendet" in den Tabellen der vorhandenen Randbedingungen aufgeführt. Für diese verwendeten Randbedingungen werden die GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet und aufgeführt.

A 1.5 ERGEBNISDARSTELLUNG

Für die Ergebnisdarstellung werden die GVA-Wahrscheinlichkeiten für eine unterschiedliche Anzahl der Komponenten einer Komponentengruppe - Ausfallkombinationen - und unterschiedliche Testintervalle berechnet. Bei Komponenten, für die bereits in dem Fachband zum PSA-Leitfaden /MET 97/ Daten vorhanden sind, sind die Anzahl der Komponenten und Testintervalle übernommen worden. Daher werden in der Regel für Armaturen und Pumpen als Anzahl der Komponenten die Werte 2, 3, 4, 6 und 8 und für Komponenten der Messtechnik die Werte 3, 4, 6, 9 und 12 verwendet. Als Testintervalle werden ein Jahr (8736 h), drei Monate (2016 h), ein Monat (672 h) und ein Monat mit wöchentlich versetztem Test (336 h) berücksichtigt.

Als Ergebnis liefert das Programm PEAK unparametrische Ergebnisverteilungen. Die in dem Programm PEAK nicht erfassten Unsicherheiten wurden durch eine Verbreiterung der Ergebnisverteilungen berücksichtigt. Hierbei wird eine Approximation der Ergebnisverteilungen an eine Lognormal-Verteilung und eine Verbreiterung der Lognormal-Verteilung vorgenommen (siehe Anhang D in /MET 05/). Als Ergebnisse werden für die GVA-Wahrscheinlichkeiten in tabellarischer Form die

jeweilige Ausfallkombination (AFK), die Parameter der Ergebnisverteilung (5%-Fraktil, 50%-Fraktil, 95%-Fraktil) sowie Erwartungswert und Streufaktor der approximierten und verbreiterten Lognormal-Verteilung angegeben. Die aufgeführten Werte beziehen sich nicht auf eine AFK bestimmter Komponenten, sondern auf die Summe aus allen möglichen Kombinationen mit gleicher Zahl ausgefallener Komponenten.

A 2 ERGEBNISSE FÜR BESTIMMTE KOMPONENTEN

A 2.1 ABSPERRSCHIEBER

A 2.1.1 Komponentenpopulation Absperrschieber

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Absperrschieber wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAA
- Antrieb: Motor elektrisch
- System: wasserführende Systeme

A 2.1.2 Ausgewertete Quellen für Absperrschieber

Für die Auswertung der Ereignisse wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und vom 01.01.1989 bis 31.12.1994, Beobachtungszeit: 3.900 Komponentengruppenjahre,
- anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B vom 01.08.1977 bis 30.04.1981, Beobachtungszeit: 93,75 Komponentengruppenjahre

Da die anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B teilweise in der Quelle der meldepflichtigen Ereignisse enthalten ist, wurden für die Berechnungen diese beiden Quellen zu einer Quelle mit 3.950 Komponentengruppenjahren zusammengelegt. Die dieser Ermittlung zugrunde liegenden Daten sind im Anhang C dokumentiert.

A 2.1.3 Randbedingungen für Absperrschieber

Für die Bewertung der Ereignisse wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.1-1 dargestellt.

Tabelle A 2.1-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-Nr	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00063	x		ME
00067	x		ME
00092	x	x	ME
00094	x	x	ME
00095	x	x	ME
00218	x	x	ME

GVA-Nr	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00222	x		ME
00269	x	x	ME
00270	x	x	ME
00273	x		ME
00275	x		ME
00278	x	x	ME
00279	x	x	ME
00282	x	x	ME
00283	x	x	ME
00285	x	x	ME
00286	x		ME
00481	x	x	ME
00568	x		ME
00573	x	x	ME
00615	x	x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.1-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden sind.

Tabelle A 2.1-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00063	Schwingungen oder Turbulenzen möglich	KAR
00568	Schwingungen oder Turbulenzen nicht möglich	
00092	generelle Bewertung	KAR
00573	mit Handantrieb kann nachweislich nicht so viel Kraft aufgebracht werden, dass Spindelmutter beschädigt werden kann	
00222	anforderungsgerechte Prüfung nach jeder Instandhaltungsmaßnahme (Anforderung mit Differenzdruck)	
00286	nicht anforderungsgerechte Prüfung (Anforderung ohne Differenzdruck)	KAR
00270	gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben	
	in einer Revision ist gleichzeitige Instandhaltung in mehreren Redundanzen möglich	KAR

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00278	Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	
	ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen	KAR
00279	Betätigungen bei WKP und Betrieb finden unter realen Anforderungsbedingungen statt mit Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen incl. Trendauswertung	
	ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen und Möglichkeit zur gleichzeitigen Instandhaltung in mehreren Redundanzen in einer Revision	KAR
	ohne Wirkleistungsmessungsauswertung aller Betätigungen aber gestaffelte Instandhaltung über mehrere Revisionen vorgeschrieben	
00282 00481	Übertragbarkeit für Armaturen mit Rutschkupplung	KAR
	Übertragbarkeit für Armaturen ohne Rutschkupplung	
00283	keine Instandhaltungsanweisung, die Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vorschreibt	KAR
	Instandhaltungsanweisung schreibt Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung vor	
00285	Übertragbarkeit für heiße Systeme	KAR
	Übertragbarkeit für kalte Systeme	

A 2.1.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrschieber

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.1-3 bis Tabelle A 2.1-10 aufgeführt.

Tabelle A 2.1-3: Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,3
2v6	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
7v8	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v8	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,6

Tabelle A 2.1-4: Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,3
2v6	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
7v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v8	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,6

Tabelle A 2.1-5: Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streufaktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v4	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
2v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v6	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v8	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v8	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v8	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	4,6

Tabelle A 2.1-6: Absperrschieber, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streufaktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$8,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v4	$7,8 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$6,2 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v4	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	4,3
2v6	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$6,8 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v8	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v8	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v8	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,6

Tabelle A 2.1-7: Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v8	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
7v8	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v8	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,7

Tabelle A 2.1-8: Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v6	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
7v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v8	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,7

Tabelle A 2.1-9: Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v4	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v6	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v6	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v8	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v8	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v8	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,7

Tabelle A 2.1-10: Absperrschieber, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v4	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v6	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v6	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v8	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v8	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v8	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v8	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,7

A 2.2 ABSPERRVENTIL (WASSERFÜHRENDE SYSTEME)

A 2.2.1 Komponentenpopulation Absperrventil

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Absperrventil wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAB
- Antrieb: Motor elektrisch
- System: wasserführende Systeme

A 2.2.2 Ausgewertete Quellen für Absperrventil

Für die Auswertung der Ereignisse an Absperrventilen in wasserführenden Systemen wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B vom 01.08.1977 bis 30.04.1981, Beobachtungszeit: 138,75 Komponentengruppenjahre
- meldepflichtige Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und 01.01.1989 bis 31.12.1994, Beobachtungszeit: 9.400 Komponentengruppenjahre,
- Internationale Betriebserfahrung (IRS) ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985, Beobachtungszeit: 3.000 Komponentengruppenjahre

Für die Berechnungen wurden die ersten beiden Quellen (anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B und meldepflichtige Ereignisse) zu einer Quelle mit 9.400 Komponentengruppenjahren zusammengelegt, da die anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B vollständig in der Quelle der meldepflichtigen Ereignisse enthalten ist.

A 2.2.3 Randbedingungen für Absperrventil

Für die Bewertung der Ereignisse an Absperrventilen in wasserführenden Systemen wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.2-1 dargestellt. Zusätzlich ist in der Spalte "Quelle" angegeben, ob das jeweilige Ereignis in der deutschen Betriebserfahrung (ME) oder in der internationalen Betriebserfahrung (IRS) beobachtet worden ist.

Tabelle A 2.2-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00096	x	x	ME
00110	x		IRS
00204		x	ME
00226	x		ME
00289	x		ME
00290	x		ME

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00292		x	ME
00504	x	x	ME
00579		x	ME
00589		x	ME

Es sind insgesamt 10 Ereignisse beobachtet worden. Das Ereignis mit der GVA-Nummer 00110 ist das einzige Ereignis, das aus der internationalen Betriebserfahrung stammt. Da genügend Ereignisse aus den meldepflichtigen Ereignissen verfügbar sind, wird die Quelle der internationalen Betriebserfahrung bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.2-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind. Die Randbedingungen mit unterschiedlichen Testintervallen werden bei der Berechnung berücksichtigt (Kennzeichnung mit "BRB"). Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter "Absteuerung über Drehmoment in Öffnungsrichtung und Anfahüberbrückung in Schließrichtung und verbessertes Prüfkonzept (Wirkleistungsmessung und Trendverfolgung)" sind in der Spalte "Verwendung" mit "ZRB" gekennzeichnet.

Tabelle A 2.2-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00204 00589	Absteuerung über Wegendschalter in Öffnungsrichtung und Anfahüberbrückung in Schließrichtung und verbessertes Prüfkonzept	
	Absteuerung über Wegendschalter in Öffnungsrichtung und keine Anfahüberbrückung in Schließrichtung und verbessertes Prüfkonzept	
	Absteuerung über Drehmoment in Öffnungsrichtung und Anfahüberbrückung in Schließrichtung und verbessertes Prüfkonzept	ZRB
	Absteuerung über Drehmoment in Öffnungsrichtung und keine Anfahüberbrückung in Schließrichtung	KAR
00226	selten (z.B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	BRB ZRB
	häufig (z.B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment überbrückt	
	selten (z.B. jährlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	BRB KAR
	häufig (z.B. monatlich) betätigte Ventile und Drehmoment nicht überbrückt	
00289 00290	ohne Anfahüberbrückung	KAR
	mit Anfahüberbrückung	ZRB

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00292 00579	keine Selbsthemmung	KAR
	Selbsthemmung von Armatur oder Antrieb nachgewiesen für gesamtes Instandhaltungsintervall	
00504	Übertragbarkeit auf ältere Anlagen mit vergleichbaren Verlegerichtlinien	KAR
	Übertragbarkeit auf neuere Anlagen: bessere Verlegerichtlinien	

A 2.2.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrventil (Wassersystem)

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.2-3 bis Tabelle A 2.2-18 aufgeführt.

Tabelle A 2.2-3: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	5,0
2v4	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v4	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	6,0
2v6	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	4,7
6v6	$2,1 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	9,2
2v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v8	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v8	$4,0 \cdot 10^{-08}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v8	$3,1 \cdot 10^{-09}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-07}$	15,5

Tabelle A 2.2-4: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	5,0
2v4	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v4	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	6,0
2v6	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	4,7
6v6	$4,2 \cdot 10^{-08}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	9,2
2v8	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v8	$7,9 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v8	$6,3 \cdot 10^{-09}$	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	15,5

Tabelle A 2.2-5: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	5,0
2v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$9,2 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	6,0
2v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,7
6v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	9,2
2v8	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v8	$1,9 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	15,5

Tabelle A 2.2-6: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	6,0
2v6	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v6	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	9,3
2v8	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v8	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	5,6
8v8	$9,8 \cdot 10^{-08}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	15,6

Tabelle A 2.2-7: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,3 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	5,6
2v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v4	$7,6 \cdot 10^{-08}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	6,9
2v6	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v6	$1,0 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-07}$	10,9
2v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v8	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,6
7v8	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-07}$	6,7
8v8	$1,6 \cdot 10^{-09}$	$9,7 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	18,8

Tabelle A 2.2-8: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	5,6
2v4	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v4	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	6,9
2v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v6	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	10,9
2v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,6
7v8	$3,9 \cdot 10^{-08}$	$8,6 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	6,7
8v8	$3,2 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	18,8

Tabelle A 2.2-9: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,6
2v4	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	6,9
2v6	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v6	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	10,9
2v8	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	4,6
7v8	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	6,7
8v8	$9,7 \cdot 10^{-09}$	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	18,8

Tabelle A 2.2-10: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Öffnet nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	5,5
2v4	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	6,8
2v6	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	5,2
6v6	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	11,0
2v8	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v8	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,6
7v8	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	6,7
8v8	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	18,9

Tabelle A 2.2-11: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	4,4
2v4	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v4	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,7
2v6	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$8,8 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	4,3
6v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	5,7
2v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,3
2v2	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	4,0

Tabelle A 2.2-12: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v4	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	4,7
2v6	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	4,3
6v6	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	5,7
2v8	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v8	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	4,3
7v8	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	4,5
8v8	$9,1 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	7,5

Tabelle A 2.2-13: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v4	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v6	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	5,7
2v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
7v8	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,5
8v8	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	7,5

Tabelle A 2.2-14: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v4	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v4	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v6	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v6	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	5,7
2v8	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
7v8	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,5
8v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	7,5

Tabelle A 2.2-15: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v4	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	5,7
2v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	4,8
6v6	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v8	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$9,4 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v8	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$6,6 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	5,9
8v8	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-07}$	9,4

Tabelle A 2.2-16: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v4	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	5,7
2v6	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,8
6v6	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v8	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v8	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	5,9
8v8	$3,2 \cdot 10^{-08}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	9,4

Tabelle A 2.2-17: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,7
2v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,8
6v6	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v8	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	5,9
8v8	$9,5 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	9,4

Tabelle A 2.2-18: Absperrventil (Wassersystem), Ausfallart "Schließt nicht", Anfahrüberbrückung der Drehmomentabschaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	5,7
2v6	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,8
6v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	7,6
2v8	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	5,9
8v8	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	9,4

A 2.3 ABSPERRVENTIL (DAMPFFÜHRENDE SYSTEME)

A 2.3.1 Komponentenpopulation Absperrventil

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Absperrventil wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAB
- Antrieb: Motor elektrisch
- System: dampfführende Systeme

A 2.3.2 Ausgewertete Quellen für Absperrventil

Für die Auswertung der Ereignisse an Absperrventilen in dampfführenden Systemen wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus dem Zeitraum 01.01.1990 bis 31.12.1994 berücksichtigt. Als Bezugszeitraum wurde ein Wert von ca. 100 Komponentengruppenjahren ermittelt.

A 2.3.3 Randbedingungen für Absperrventil

Für die Bewertung der Ereignisse an Absperrventilen in dampfführenden Systemen wurden nur Ereignisse mit der Ausfallart "Öffnet nicht" beobachtet. Weitere Randbedingungen wurden bei der Bewertung der Ereignisse nicht eingeführt. Die berücksichtigten Ereignisse sind in Tabelle A 2.3-1 aufgeführt:

Tabelle A 2.3-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00230	x		ME
00231	x		ME

A 2.3.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrventil (Dampfsystem)

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Öffnet nicht" sind in Tabelle A 2.3-2 bis Tabelle A 2.3-5 aufgeführt.

**Tabelle A 2.3-2: Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	5,4
2v4	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	6,9
2v6	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,6
6v6	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	11,8
2v8	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,3
3v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$7,4 \cdot 10^{-07}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	5,4
8v8	$4,7 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	21,8

**Tabelle A 2.3-3: Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	5,4
2v4	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	6,9
2v6	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,6
6v6	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	11,8
2v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,3
3v8	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	5,4
8v8	$9,3 \cdot 10^{-08}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	21,8

**Tabelle A 2.3-4: Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	5,4
2v4	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v4	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	6,9
2v6	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,2
3v6	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v6	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	4,6
6v6	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	11,8
2v8	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	4,3
3v8	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$8,3 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	5,4
8v8	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	21,8

**Tabelle A 2.3-5: Absperrventil (Dampfsystem), Ausfallart "Öffnet nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$6,0 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	$8,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$5,8 \cdot 10^{-03}$	$8,5 \cdot 10^{-03}$	$8,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-02}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	5,4
2v4	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-03}$	$7,6 \cdot 10^{-03}$	$6,4 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$9,4 \cdot 10^{-03}$	$4,6 \cdot 10^{-03}$	6,9
2v6	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$6,1 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	4,2
3v6	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$6,0 \cdot 10^{-03}$	$4,8 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$6,0 \cdot 10^{-03}$	$4,1 \cdot 10^{-03}$	4,6
6v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$8,2 \cdot 10^{-03}$	$3,1 \cdot 10^{-03}$	11,8
2v8	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$5,3 \cdot 10^{-03}$	$3,7 \cdot 10^{-03}$	4,3
3v8	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$5,2 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v8	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
5v8	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
6v8	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$3,6 \cdot 10^{-03}$	4,3
7v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	5,4
8v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	21,8

A 2.4 ABSPERRKLAPPE

A 2.4.1 Komponentenpopulation Absperrklappe

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Absperrklappe wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAC
- Antrieb: Motor elektrisch
- System: wasserführende Systeme

A 2.4.2 Ausgewertete Quellen für Absperrklappe

Für die Auswertung der Ereignisse an Absperrklappen in wasserführenden Systemen wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 1.200 Komponentengruppenjahre,
- internationale Betriebserfahrung IRS aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 2.000 Komponentengruppenjahre

A 2.4.3 Randbedingungen für Absperrklappe

Für die Bewertung der Ereignisse an Absperrklappen in wasserführenden Systemen werden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.4-1 dargestellt. Zusätzlich ist in der Spalte "Quelle" angegeben, ob das jeweilige Ereignis in der deutschen Betriebserfahrung (ME) oder in der internationalen Betriebserfahrung (IRS) beobachtet worden ist.

Tabelle A 2.4-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00111	x	x	IRS
00164	x	x	ME
00166	x		ME
00575	x	x	IRS

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.4-2 aufgeführt sind. In der Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden sind. Die zusätzlich berücksichtigte Randbedingung mit nicht konservativ abdeckendem Charakter "Sauberwasser" ist in der Spalte "Verwendung" mit ZRB gekennzeichnet.

Tabelle A 2.4-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00111 00575	Schmutzwasser (VE), jährlich geprüft	BRB KAR
	Schmutzwasser (VE), monatlich geprüft	
	Sauberwasser, jährlich geprüft	BRB ZRB
	Sauberwasser, monatlich geprüft	
00164	Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	
	Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	
	keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben aber redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	
	keine Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung vorgeschrieben und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	KAR
00166	Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturen-kennkarten und redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	
	Instandhaltung mit komponentenspezifischen Armaturen-kennkarten, redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	
	Instandhaltung ohne komponentenspezifische Armaturen-kennkarten aber redundanzübergreifende Instandhaltung nicht zulässig	
	Instandhaltung ohne komponentenspezifische Armaturen-kennkarten und redundanzübergreifende Instandhaltung zulässig	KAR

A 2.4.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Absperrklappe

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.4-3 bis Tabelle A 2.4-18 aufgeführt.

**Tabelle A 2.4-3: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	5,8
2v4	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,5
4v4	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v6	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	6,0
6v6	$8,2 \cdot 10^{-09}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	13,8
2v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$9,9 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v8	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	5,5
7v8	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	9,2
8v8	$5,3 \cdot 10^{-10}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	27,2

**Tabelle A 2.4-4: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v4	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,5
4v4	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	7,6
2v6	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v6	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	6,0
6v6	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	13,8
2v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v8	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$2,4 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	9,2
8v8	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	27,2

**Tabelle A 2.4-5: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v4	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,5
4v4	$8,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	7,6
2v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v6	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	6,0
6v6	$4,9 \cdot 10^{-08}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	13,8
2v8	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v8	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$7,2 \cdot 10^{-08}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	9,2
8v8	$3,2 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	27,2

**Tabelle A 2.4-6: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,8
2v4	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	5,6
2v6	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	5,0
3v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	5,1
6v6	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	7,6
2v8	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	9,6
3v8	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	5,1
4v8	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,8
7v8	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	7,0
8v8	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	11,1

Tabelle A 2.4-7: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	5,9
2v4	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	4,5
4v4	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-07}$	7,7
2v6	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$8,6 \cdot 10^{-08}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,5
5v6	$1,5 \cdot 10^{-08}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	6,2
6v6	$8,9 \cdot 10^{-10}$	$9,6 \cdot 10^{-08}$	$9,1 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	13,6
2v8	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$8,6 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v8	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$4,8 \cdot 10^{-08}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	4,4
6v8	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-07}$	5,6
7v8	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-07}$	9,5
8v8	$5,9 \cdot 10^{-11}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	25,8

Tabelle A 2.4-8: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	5,9
2v4	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,5
4v4	$2,9 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	7,7
2v6	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,5
5v6	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	6,2
6v6	$1,8 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-07}$	13,6
2v8	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v8	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$9,5 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v8	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$7,6 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	5,6
7v8	$2,6 \cdot 10^{-09}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-07}$	9,5
8v8	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$5,9 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	25,8

Tabelle A 2.4-9: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	5,9
2v4	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	4,5
4v4	$8,6 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	7,7
2v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	4,5
5v6	$9,0 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	6,2
6v6	$5,3 \cdot 10^{-09}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	13,6
2v8	$6,6 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v8	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$6,7 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v8	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v8	$6,5 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	5,6
7v8	$7,9 \cdot 10^{-09}$	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	9,5
8v8	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	25,8

Tabelle A 2.4-10: Absperrklappe, Ausfallart "Öffnet nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	5,9
2v4	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	5,9
2v6	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,5
5v6	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	6,2
6v6	$2,3 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	13,6
2v8	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	9,9
3v8	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	5,3
4v8	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,7
7v8	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	7,0
8v8	$4,2 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	12,0

Tabelle A 2.4-11: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	7,4
2v4	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	5,2
4v4	$3,1 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	11,4
2v6	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	5,2
5v6	$2,6 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	9,2
6v6	$1,0 \cdot 10^{-09}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	27,3
2v8	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
3v8	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v8	$8,7 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v8	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	8,8
7v8	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	18,6
8v8	$3,6 \cdot 10^{-11}$	$8,0 \cdot 10^{-08}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	68,9

Tabelle A 2.4-12: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	7,4
2v4	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	5,2
4v4	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	11,4
2v6	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	5,2
5v6	$5,2 \cdot 10^{-08}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	9,2
6v6	$2,1 \cdot 10^{-09}$	$6,7 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	27,3
2v8	$8,0 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v8	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,2
6v8	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	8,8
7v8	$2,4 \cdot 10^{-09}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	18,6
8v8	$7,2 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	68,9

**Tabelle A 2.4-13: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	7,4
2v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	5,2
4v4	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	11,4
2v6	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	5,2
5v6	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	9,2
6v6	$6,2 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	27,3
2v8	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v8	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v8	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	5,2
6v8	$8,4 \cdot 10^{-08}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	8,8
7v8	$7,1 \cdot 10^{-09}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	18,6
8v8	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	68,9

**Tabelle A 2.4-14: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	5,9
2v4	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,9
4v4	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	8,1
2v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,9
3v6	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,9
5v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	7,8
6v6	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	14,4
2v8	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	9,4
3v8	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	5,0
4v8	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,8
6v8	$7,3 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	7,6
7v8	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	13,9
8v8	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	27,1

Tabelle A 2.4-15: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-07}$	7,6
2v4	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-07}$	5,3
4v4	$3,3 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	11,7
2v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$8,7 \cdot 10^{-08}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	5,2
5v6	$2,7 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	9,6
6v6	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	26,8
2v8	$4,1 \cdot 10^{-08}$	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-07}$	4,2
3v8	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$6,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-07}$	4,0
4v8	$3,3 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-07}$	4,2
5v8	$9,5 \cdot 10^{-09}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-07}$	5,2
6v8	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	9,1
7v8	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$8,8 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	19,3
8v8	$4,0 \cdot 10^{-12}$	$9,1 \cdot 10^{-09}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	65,2

Tabelle A 2.4-16: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$3,7 \cdot 10^{-08}$	$7,0 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v4	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	5,3
4v4	$6,6 \cdot 10^{-09}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	11,7
2v6	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	5,2
5v6	$5,4 \cdot 10^{-09}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	9,6
6v6	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$7,7 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	26,8
2v8	$8,2 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v8	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$6,6 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v8	$1,9 \cdot 10^{-08}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v8	$3,0 \cdot 10^{-09}$	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-07}$	9,1
7v8	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-07}$	19,3
8v8	$8,0 \cdot 10^{-12}$	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-07}$	65,2

Tabelle A 2.4-17: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	7,6
2v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	5,3
4v4	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	11,7
2v6	$8,0 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	5,2
5v6	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	9,6
6v6	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	26,8
2v8	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v8	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v8	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v8	$5,7 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v8	$9,1 \cdot 10^{-09}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	9,1
7v8	$7,8 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	19,3
8v8	$2,4 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	65,2

Tabelle A 2.4-18: Absperrklappe, Ausfallart "Schließt nicht", Medium Sauberwasser, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	6,2
2v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,8
4v4	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	8,6
2v6	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	5,1
3v6	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,7
5v6	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	7,6
6v6	$3,7 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	15,6
2v8	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	9,6
3v8	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	5,1
4v8	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v8	$9,1 \cdot 10^{-08}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	7,3
7v8	$2,3 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	13,9
8v8	$2,8 \cdot 10^{-09}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	29,2

A 2.5 REGELVENTIL

A 2.5.1 Komponentenpopulation Regelventil

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Regelventil wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAE
- Antrieb: Motor elektrisch

A 2.5.2 Ausgewertete Quellen für Regelventil

Für die Auswertung der Ereignisse an Regelventilen wurde folgende Quelle berücksichtigt:

- anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B vom 01.08.1977 bis 30.04.1981, Beobachtungszeit: 90 Komponentengruppenjahre

A 2.5.3 Randbedingungen für Regelventil

Für die Bewertung der Ereignisse an Regelventilen wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Regelt nicht" und "Öffnet oder schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.5-1 dargestellt.

Tabelle A 2.5-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Regelt nicht	Öffnet oder schließt nicht	Quelle
00098		x	Biblis B
00099	x	x	Biblis B
00102	x		Biblis B
00103	x		Biblis B
00574	x	x	Biblis B

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.5-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind. Für die Berücksichtigung der zusätzlichen Randbedingung "Nur für Sicherheitssystem" wurden die beiden GVA-Ereignisse 00102 und 00103 bei der Berechnung nicht verwendet (siehe Abschnitt A 1.4).

Tabelle A 2.5-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00098	Entdeckung durch zusätzliche Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung	
	ohne zusätzliche Wirkleistungsmessung nach jeder Instandhaltung	KAR
00102	Übertragbarkeit nur für betriebliche Regelung	KAR
	Ereignis nicht berücksichtigt	ZRB
00103	Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb, Expertenschätzung für 2-strängiges System (nur für betriebliche Regelung übertragbar)	
	ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb, Expertenschätzung für 2-strängiges System (nur für betriebliche Regelung übertragbar)	KAR
	Regelventile mit Prüfung vor Leistungsbetrieb, Expertenschätzung für 4-strängiges System (nur für betriebliche Regelung übertragbar)	
	ohne Prüfung vor Leistungsbetrieb, Expertenschätzung für 4-strängiges System (nur für betriebliche Regelung übertragbar)	KAR
	Ereignis nicht berücksichtigt	ZRB

A 2.5.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Regelventil

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Regelt nicht" und "Öffnet oder schließt nicht" sind in Tabelle A 2.5-3 bis Tabelle A 2.5-14 aufgeführt.

**Tabelle A 2.5-3: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$9,9 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v4	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v4	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	5,0
2v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,4
6v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	6,3
2v8	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
3v8	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,7
8v8	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	8,3

**Tabelle A 2.5-4: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v4	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v4	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	5,0
2v6	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v6	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,4
6v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	6,3
2v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
3v8	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	4,7
8v8	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	8,3

**Tabelle A 2.5-5: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$5,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	$4,4 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v4	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$3,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v4	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	5,0
2v6	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,1
3v6	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v6	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,4
6v6	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	6,3
2v8	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,3
3v8	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$7,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
5v8	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
6v8	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,3
7v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,7
8v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	8,3

**Tabelle A 2.5-6: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$8,9 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-02}$	$2,6 \cdot 10^{-02}$	$2,4 \cdot 10^{-02}$	4,0
2v3	$7,2 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	$1,7 \cdot 10^{-02}$	$1,7 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v3	$5,0 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-02}$	$2,1 \cdot 10^{-02}$	$1,9 \cdot 10^{-02}$	4,2
2v4	$7,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$1,5 \cdot 10^{-02}$	$1,6 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v4	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$9,8 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-02}$	$1,4 \cdot 10^{-02}$	4,1
4v4	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-02}$	$9,5 \cdot 10^{-03}$	5,0
2v6	$3,8 \cdot 10^{-03}$	$7,7 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	4,1
3v6	$4,5 \cdot 10^{-03}$	$8,3 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	4,0
4v6	$3,7 \cdot 10^{-03}$	$7,7 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	4,1
5v6	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$8,9 \cdot 10^{-03}$	4,4
6v6	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$5,6 \cdot 10^{-03}$	6,3
2v8	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$5,4 \cdot 10^{-03}$	$9,7 \cdot 10^{-03}$	$7,9 \cdot 10^{-03}$	4,3
3v8	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-02}$	$9,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$6,5 \cdot 10^{-03}$	$9,9 \cdot 10^{-03}$	$9,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
5v8	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	$9,9 \cdot 10^{-03}$	$8,9 \cdot 10^{-03}$	4,1
6v8	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$5,3 \cdot 10^{-03}$	$9,6 \cdot 10^{-03}$	$7,8 \cdot 10^{-03}$	4,3
7v8	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$8,9 \cdot 10^{-03}$	$6,3 \cdot 10^{-03}$	4,7
8v8	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$8,5 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	8,3

**Tabelle A 2.5-7: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v4	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,3
4v4	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	6,8
2v6	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,7
6v6	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	11,2
2v8	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,4
3v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	5,8
8v8	$4,0 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	20,4

**Tabelle A 2.5-8: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v4	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	4,3
4v4	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	6,8
2v6	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,7
6v6	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	11,2
2v8	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
3v8	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,3
7v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	5,8
8v8	$8,0 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	20,4

**Tabelle A 2.5-9: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	4,0
2v3	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v3	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	5,5
2v4	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v4	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	4,3
4v4	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	6,8
2v6	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	4,2
3v6	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	4,0
4v6	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	4,2
5v6	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	4,7
6v6	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	11,2
2v8	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	4,4
3v8	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	4,1
4v8	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	4,0
5v8	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	4,1
6v8	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-4}$	4,3
7v8	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$	5,8
8v8	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	20,4

**Tabelle A 2.5-10: Regelventil, Ausfallart "Regelt nicht", nur für Sicherheitssysteme übertragbar,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	4,0
2v3	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v3	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	5,5
2v4	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v4	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	4,3
4v4	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	6,8
2v6	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	4,2
3v6	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	4,0
4v6	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	4,2
5v6	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	4,7
6v6	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	11,2
2v8	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	4,4
3v8	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	4,1
4v8	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	4,0
5v8	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	4,1
6v8	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	4,3
7v8	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	5,8
8v8	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	20,4

Tabelle A 2.5-11: Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	5,4
2v4	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	6,6
2v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,7
6v6	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	11,3
2v8	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	6,0
8v8	$7,1 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	21,0

Tabelle A 2.5-12: Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	5,4
2v4	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	6,6
2v6	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,7
6v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	11,3
2v8	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v8	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	6,0
8v8	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	21,0

Tabelle A 2.5-13: Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	5,4
2v4	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v4	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	6,6
2v6	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v6	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,7
6v6	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	11,3
2v8	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v8	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
5v8	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
6v8	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,4
7v8	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	6,0
8v8	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	21,0

Tabelle A 2.5-14: Regelventil, Ausfallart "Öffnet oder schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$7,0 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-02}$	$1,0 \cdot 10^{-02}$	4,0
2v3	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$7,9 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v3	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$6,7 \cdot 10^{-03}$	5,4
2v4	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$7,4 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v4	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	$9,1 \cdot 10^{-03}$	$8,0 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v4	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$9,1 \cdot 10^{-03}$	$4,7 \cdot 10^{-03}$	6,6
2v6	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$6,1 \cdot 10^{-03}$	$9,5 \cdot 10^{-03}$	$8,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$5,2 \cdot 10^{-03}$	$8,2 \cdot 10^{-03}$	$7,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v6	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v6	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	4,7
6v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	11,3
2v8	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$5,2 \cdot 10^{-03}$	$8,6 \cdot 10^{-03}$	$7,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$4,6 \cdot 10^{-03}$	$7,7 \cdot 10^{-03}$	$6,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v8	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$6,7 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
5v8	$7,4 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-03}$	$6,1 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
6v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$6,1 \cdot 10^{-03}$	$4,5 \cdot 10^{-03}$	4,4
7v8	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	6,0
8v8	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	21,0

A 2.6 FRISCHDAMPF-ABBLASEREGELVENTIL

A 2.6.1 Komponentenpopulation FD-Abblaseregelventil

Für die Auswertung der Komponentenpopulation FD-Abblaseregelventil wurden die Armaturen in Kernkraftwerken mit Druckwasserreaktor mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAE
- Antrieb: Motor elektrisch
- System: Frischdampfsystem (DWR)

A 2.6.2 Ausgewertete Quellen für FD-Abblaseregelventil

Für die Auswertung der Ereignisse an FD-Abblaseregelventilen wurden die meldepflichtigen Ereignisse für den Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis zum 31.12.1998 ausgewertet. Hierbei wurde für jedes Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor eine Komponentengruppe berücksichtigt. Als Bezugszeitraum wurde ein Wert von 195,4 Komponentengruppenjahren ermittelt.

A 2.6.3 Randbedingungen für FD-Abblaseregelventil

Bei der Bewertung der Ereignisse wurde berücksichtigt, dass die beobachteten Ausfälle durch unterschiedliche Funktionsprüfungen entdeckt werden können und damit unterschiedliche Entdeckungszeiten anzusetzen sind. Für die Prüfungen der FD-Abblaseregelventile werden im Allgemeinen zwei Prüfungen durchgeführt:

- Monatlich versetzte Fahrprüfung der Abblaseregelventile bei geschlossenen Absperrventilen der Abblaseregelventile,
- Jährliche scharfe Prüfung der Abblaseregelventile mit geöffneten Absperrventilen der Abblaseregelventile vor dem Anfahren.

Die Zuordnung dieser beiden Prüfungen zu den beobachteten Ereignissen Tabelle A 2.6-1 ist in gegeben.

Tabelle A 2.6-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-Nr	Monatlich versetzt 336 h	Jährlich 8736 h	Quelle
00101	x		ME
00168		x	ME
00169		x	ME
00170	x		ME
00171		x	ME
00399	x		ME
00407		x	ME
00450		x	ME

GVA-Nr	Monatlich versetzt 336 h	Jährlich 8736 h	Quelle
00467		x	ME
00581	x		ME
00586	x		ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.6-2 aufgeführt sind. In diesem Vorhaben werden nur Ereignisse für den Leistungsbetrieb berücksichtigt. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "PLB" vermerkt, welche Randbedingung in diesem Bericht berücksichtigt worden ist.

Tabelle A 2.6-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00101 00168	Übertragbarkeit für Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	PLB
	Übertragbarkeit für Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	

A 2.6.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für FD-Abblaseregelventil

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Öffnet nicht" sind in Tabelle A 2.6-3 aufgeführt. Die zu berücksichtigenden Testintervalle sind durch die Prüfstrategie in der Anlage vorgegeben und in den hier ausgewiesenen Daten bereits einbezogen.

Tabelle A 2.6-3: Frischdampf-Abblaseregelventil, Ausfallart "Öffnet nicht"

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$5,6 \cdot 10^{-03}$	$8,2 \cdot 10^{-03}$	$8,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$4,5 \cdot 10^{-03}$	$7,5 \cdot 10^{-03}$	$6,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v4	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	4,2
3v4	$8,8 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v4	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$3,7 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-03}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	4,3

A 2.7 SICHERHEITSVENTIL

A 2.7.1 Komponentenpopulation Sicherheitsventil

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Sicherheitsventil wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAK
- Antrieb: Eigenmedium
- System: Dampfsystem (DWR und SWR) und Druckhalter (DWR)
- Sicherheitsfunktion: Öffnen

In dieser Komponentenpopulation werden die Sicherheitsventile der Druckabsicherung der Dampferzeuger und der Druckhalterstation von Druckwasserreaktoren und die Sicherheits- und Entlastungsventile (S/E-Ventile) innerhalb des Sicherheitsbehälters von Siedewasserreaktoren zusammengefasst. Es wurden nur die Hauptarmaturen ohne Vorsteuerung berücksichtigt.

A 2.7.2 Ausgewertete Quellen für Sicherheitsventil

Für die Auswertung der Ereignisse an Sicherheitsventilen wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und von 01.01.1994 bis 31.12.1998 mit einer gesamten Beobachtungszeit von 327 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.7.3 Randbedingungen für Sicherheitsventil

Für die Bewertung der Ereignisse an Sicherheitsventilen wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.7-1 dargestellt.

Tabelle A 2.7-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00001	x	x	ME
00016	x		ME
00338		x	ME
00592	x		ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.7-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingung für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden ist. Durch das Kürzel "PLB" in der letzten Spalte "Verwendung" ist vermerkt, welche Randbedingung für den Leistungsbetrieb verwendet worden ist.

Tabelle A 2.7-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00001 00338	Übertragbarkeit auf Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	PLB
	Übertragbarkeit auf Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	
00016	Bewertung eines vergleichbaren Schadens in internen Bohrungen im Ansteuerbereich von Hauptarmaturen, wenn keine externen Steuerleitungen vorhanden sind	KAR

A 2.7.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Sicherheitsventil

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.7-3 und Tabelle A 2.7-4 aufgeführt.

**Tabelle A 2.7-3: Sicherheitsventil, Ausfallart "Öffnet nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v4	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	8,8
4v4	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	10,7

**Tabelle A 2.7-4: Sicherheitsventil, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v4	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$2,9 \cdot 10^{-08}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	11,2

A 2.8 VORSTEUERVENTIL (FEDERBELASTET)

A 2.8.1 Komponentenpopulation Vorsteuerventil (federbelastet)

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Vorsteuerventil (federbelastet) wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAK
- Funktion: Vorsteuerventil für Hauptventil
- Antrieb: federbelastet

A 2.8.2 Ausgewertete Quellen für Vorsteuerventil (federbelastet)

Für die Auswertung der Ereignisse an Vorsteuerventilen (federbelastet) wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und von 01.01.1994 bis 31.12.1998 mit einer gesamten Beobachtungszeit von 200 Komponenten-gruppenjahren berücksichtigt.

A 2.8.3 Randbedingungen für Vorsteuerventil (federbelastet)

Für die Bewertung der Ereignisse an Vorsteuerventilen (federbelastet) wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.8-1 dargestellt.

Tabelle A 2.8-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00028		x	ME
00030	x		ME
00042		x	ME
00043	x		ME
00048	x		ME
00050	x		ME
00054	x		ME
00058	x		ME
00061	x		ME
00420		x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.8-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden sind. Durch ein "KUG" ist vermerkt, für welche Ereignisse zwar unterschiedliche Randbedingungen existieren, diese aber nicht zu unterschiedlichen Bewertungen durch die GRS geführt haben. Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingung mit nicht konservativ abdeckendem Charakter "Funktionsprüfung auf Prüfstand vorgeschrieben nach

Instandhaltungsmaßnahme" ist in der Spalte "Verwendung" mit "ZRB" gekennzeichnet. Durch das Kürzel "PLB" in der letzten Spalte "Verwendung" ist vermerkt, welche Randbedingung für den Leistungsbetrieb verwendet worden ist.

Tabelle A 2.8-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00028	Übertragbarkeit auf Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	
	Übertragbarkeit auf Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	PLB
00030 00048	Funktionsprüfung auf Prüfstand vorgeschrieben nach Instandhaltungsmaßnahmen	ZRB
	ohne besonderes Prüfprogramm	KAR
00042 00043 00054	ohne Chrombeschichtung	KUG
	mit Chrombeschichtung	
00050	Magnetfunktion betroffen: nur für magnetbetätigte Ventile und für Ventile mit magnetischer Zusatzbelastung übertragbar (und nur bei Ruhestrom übertragbar)	KAR

A 2.8.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Vorsteuerventil (federbelastet)

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.8-3 bis Tabelle A 2.8-14 aufgeführt.

Tabelle A 2.8-3: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v4	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,3
4v4	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	5,5
2v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
6v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	8,2
2v8	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
6v8	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,8
7v8	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	5,8
8v8	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	14,0

Tabelle A 2.8-4: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,7
2v4	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,3
4v4	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v6	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,9
6v6	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	8,2
2v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,3
6v8	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,8
7v8	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	5,8
8v8	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	14,0

Tabelle A 2.8-5: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$6,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	4,7
2v4	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	4,3
4v4	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v6	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v6	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,9
6v6	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	8,2
2v8	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v8	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v8	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,3
6v8	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,8
7v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	5,8
8v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	14,0

Tabelle A 2.8-6: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-03}$	$4,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-03}$	$7,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,7
2v4	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	$7,6 \cdot 10^{-03}$	$7,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$4,8 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	4,3
4v4	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	5,5
2v6	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	$7,4 \cdot 10^{-03}$	$7,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-03}$	$5,6 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	4,3
5v6	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,9
6v6	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	8,2
2v8	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	$6,8 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$4,0 \cdot 10^{-03}$	$5,8 \cdot 10^{-03}$	$5,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v8	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	$4,6 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v8	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	4,3
6v8	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,8
7v8	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$9,7 \cdot 10^{-04}$	5,8
8v8	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	14,0

Tabelle A 2.8-7: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v4	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	6,5
2v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	4,5
5v6	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	6,0
6v6	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	9,0
2v8	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,5
6v8	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	5,6
7v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	9,2
8v8	$9,7 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	12,5

Tabelle A 2.8-8: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	5,1
2v4	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	6,5
2v6	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,5
5v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	6,0
6v6	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	9,0
2v8	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,5
6v8	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	5,6
7v8	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	9,2
8v8	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	12,5

Tabelle A 2.8-9: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	5,1
2v4	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	6,5
2v6	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	4,5
5v6	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	6,0
6v6	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	9,0
2v8	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	4,5
6v8	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	5,6
7v8	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	9,2
8v8	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	12,5

Tabelle A 2.8-10: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Öffnet nicht", Funktionsprüfung auf Prüfstand nach Instandhaltungsmaßnahme, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$5,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	5,1
2v4	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$4,5 \cdot 10^{-03}$	$6,6 \cdot 10^{-03}$	$6,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	4,4
4v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	6,5
2v6	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$4,8 \cdot 10^{-03}$	$6,6 \cdot 10^{-03}$	$6,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	$4,6 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,5
5v6	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	6,0
6v6	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	9,0
2v8	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$4,5 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	$6,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	4,2
5v8	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	4,5
6v8	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	5,6
7v8	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	9,2
8v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	12,5

Tabelle A 2.8-11: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	8,2
2v4	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	6,6
4v4	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	14,1
2v6	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v6	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	7,8
5v6	$7,6 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	16,6
6v6	$2,2 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	34,6
2v8	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v8	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
5v8	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	9,3
6v8	$4,4 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	19,3
7v8	$2,3 \cdot 10^{-09}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	38,1
8v8	$5,6 \cdot 10^{-11}$	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-07}$	92,8

Tabelle A 2.8-12: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	8,2
2v4	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	6,6
4v4	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	14,1
2v6	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v6	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	7,8
5v6	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	16,6
6v6	$4,3 \cdot 10^{-09}$	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	34,6
2v8	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v8	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	4,9
5v8	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	9,3
6v8	$8,8 \cdot 10^{-08}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	19,3
7v8	$4,6 \cdot 10^{-09}$	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	38,1
8v8	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-08}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	92,8

Tabelle A 2.8-13: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	8,2
2v4	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	6,6
4v4	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	14,1
2v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v6	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	7,8
5v6	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	16,6
6v6	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$9,1 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	34,6
2v8	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,9
5v8	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	9,3
6v8	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	19,3
7v8	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	38,1
8v8	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$9,4 \cdot 10^{-08}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	92,8

Tabelle A 2.8-14: Vorsteuerventil (Federbelastet), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	8,2
2v4	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	6,6
4v4	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	14,1
2v6	$7,5 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,4
4v6	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	7,8
5v6	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	16,6
6v6	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	34,6
2v8	$7,8 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$3,1 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v8	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,9
5v8	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	9,3
6v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	19,3
7v8	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	38,1
8v8	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	92,8

A 2.9 VORSTEUERVENTIL (MAGNETBETÄTIGT)

A 2.9.1 Komponentenpopulation Vorsteuerventil (magnetbetätigt)

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Vorsteuerventil (magnetbetätigt) wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAB
- Funktion: Vorsteuerventil für Hauptventil
- Antrieb: Magnetbetätigung

A 2.9.2 Ausgewertete Quellen für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)

Für die Auswertung der Ereignisse an Vorsteuerventilen (magnetbetätigt) wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und von 01.01.1994 bis 31.12.1998 mit einer gesamten Beobachtungszeit von 200 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.9.3 Randbedingungen für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)

Für die Bewertung der Ereignisse an Vorsteuerventilen (magnetbetätigt) wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.9-1 dargestellt.

Tabelle A 2.9-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00009	x		ME
00014		x	ME
00017	x		ME
00018	x		ME
00020	x		ME
00044	x		ME
00045	x		ME
00050	x		ME
00052	x		ME
00053	x		ME
00591	x		ME
00593	x		ME
00610	x		ME
00637	x	x	ME
00638	x	x	ME
00639	x		ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.9-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind. Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter "monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad" sind in der Spalte "Verwendung" mit ZRB gekennzeichnet. Durch das Kürzel "PLB" in der letzten Spalte "Verwendung" ist vermerkt, welche Randbedingung für den Leistungsbetrieb verwendet worden ist.

Tabelle A 2.9-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00009	jährlich geprüft	KAR
	monatlich geprüft	
	monatlich geprüft, sehr hoher Redundanzgrad (Expertschätzung)	ZRB
00050	Magnetfunktion betroffen: nur für magnetbetätigte Ventile und für Ventile mit magnetischer Zusatzbelastung übertragbar (und nur bei Ruhestrom übertragbar)	KAR
00052	Übertragbarkeit für Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	
	Übertragbarkeit für Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	PLB

A 2.9.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Vorsteuerventil (magnetbetätigt)

Bei der Durchführung der Berechnungen für Vorsteuerventil (magnetbetätigt) ergaben sich bei der Ausfallart "Schließt nicht" sehr große Streufaktoren. Diese großen Streufaktoren traten bei sehr hohen Ausfallkombinationen (7v8 und 8v8) auf. Außerdem ergaben sich bei diesen Ergebnissen sehr geringe Median-Werte und Erwartungswerte kleiner als 10^{-9} , die technisch sinnvoll nicht mehr zu vertreten sind.

Bei den Ereignissen an Vorsteuerventilen (magnetbetätigt) für die Ausfallart "Schließt nicht" wurden nur kleine Schädigungsgrade aus der Betriebserfahrung abgeschätzt. Die aus diesen Ereignissen resultierenden Schädigungsvektoren werden aber auf hohe Ausfallkombinationen angewendet. Diese Extrapolation auf sehr hohe Redundanzgrade ist ein generelles Problem aller GVA-Modelle.

Ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung des Kopplungsmodells war u. v. a. die Bestimmung der Unsicherheiten bei Ausfallkombinationen, die nicht bei den aufgetretenen GVA-Ereignissen beobachtet worden war. Daher ist ein Anstieg der Streufaktoren mit Zunahme des Abstands der berechneten Ausfallkombinationen von den beobachteten Schädigungskombinationen in der Methode des Kopplungsmodells begründet.

Zur Bestimmung technisch sinnvoller Ergebnisse für diese Fälle wurden, die entsprechenden Ergebnisse durch die Verteilungsparameter der Ausfallkombinationen (6v8) ersetzt, die unterhalb der Ausfallkombinationen mit den extrem hohen Streufaktoren liegt. Die so gemittelten Verteilungsparameter und Streufaktoren sind keine Ergebnisse des Kopplungsmodells, können aber als obere Abschätzung für diese Ausfallkombinationen verwendet werden.

Die auf dieser Vorgehensweise basierenden Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.9-3 bis Tabelle A 2.9-12 aufgeführt.

Tabelle A 2.9-3: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	5,3
2v4	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	7,3
2v6	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	4,3
5v6	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	5,4
6v6	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	15,0
2v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v8	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	5,0
7v8	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	9,1
8v8	$7,7 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	30,6
2v12	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v12	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v12	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v12	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
7v12	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,6
8v12	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
9v12	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	6,1
10v12	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	11,1
11v12	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	34,4
12v12	$9,2 \cdot 10^{-09}$	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	96,6

Tabelle A 2.9-4: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	5,3
2v4	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	7,3
2v6	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v6	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	5,4
6v6	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	15,0
2v8	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,4
6v8	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	5,0
7v8	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	9,1
8v8	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	30,6
2v12	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v12	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v12	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v12	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v12	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v12	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,6
8v12	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
9v12	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	6,1
10v12	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	11,1
11v12	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	34,4
12v12	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	96,6

Tabelle A 2.9-5: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$8,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	5,3
2v4	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	7,3
2v6	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v6	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	5,4
6v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	15,0
2v8	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$6,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v8	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	4,4
6v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	5,0
7v8	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	9,1
8v8	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	30,6
2v12	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v12	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v12	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v12	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v12	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v12	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	4,6
8v12	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,9
9v12	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	6,1
10v12	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	11,1
11v12	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	34,4
12v12	$5,9 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	96,6

Tabelle A 2.9-6: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$4,6 \cdot 10^{-03}$	$6,5 \cdot 10^{-03}$	$6,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	$7,0 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	4,3
2v4	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-03}$	$8,0 \cdot 10^{-03}$	$8,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v4	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	4,7
2v6	$4,8 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-03}$	$9,7 \cdot 10^{-03}$	$1,0 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v6	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$5,3 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v6	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$3,3 \cdot 10^{-03}$	$3,0 \cdot 10^{-03}$	4,2
5v6	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,0
6v6	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	6,0
2v8	$5,6 \cdot 10^{-03}$	$8,0 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v8	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$4,3 \cdot 10^{-03}$	$6,3 \cdot 10^{-03}$	$6,2 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v8	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	4,3
5v8	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	4,3
6v8	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,2
7v8	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
8v8	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	7,8
2v12	$5,9 \cdot 10^{-03}$	$8,6 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-02}$	$1,2 \cdot 10^{-02}$	4,0
3v12	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$5,5 \cdot 10^{-03}$	$7,7 \cdot 10^{-03}$	$7,9 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v12	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$3,4 \cdot 10^{-03}$	$5,2 \cdot 10^{-03}$	$5,0 \cdot 10^{-03}$	4,1
5v12	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$3,5 \cdot 10^{-03}$	$3,1 \cdot 10^{-03}$	4,3
6v12	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,5
7v12	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	4,6
8v12	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,5
9v12	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,2
10v12	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,2
11v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	5,1
12v12	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	14,2

Tabelle A 2.9-7: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", Abschätzung für hohe Redundanzen , Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v16	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v16	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v16	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v16	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v16	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
7v16	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v16	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,9
9v16	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	5,8
10v16	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	8,3
11v16	$9,1 \cdot 10^{-08}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	15,0
12v16	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	31,4
13v16	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	58,0
14v16	$8,7 \cdot 10^{-09}$	$8,4 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	45,2
15v16	$2,7 \cdot 10^{-09}$	$7,3 \cdot 10^{-08}$	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	14,8
16v16	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	13,8
2v24	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v24	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v24	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v24	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v24	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v24	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v24	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
9v24	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
10v24	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	4,6
11v24	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,9
12v24	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	5,5
13v24	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	6,8
14v24	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	9,4
15v24	$3,5 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	15,4
16v24	$7,1 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	29,2
17v24	$1,8 \cdot 10^{-09}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	59,0
18v24	$8,3 \cdot 10^{-10}$	$9,8 \cdot 10^{-08}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	110,1
19v24	$9,7 \cdot 10^{-10}$	$5,0 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	119,8
20v24	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	62,6
21v24	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$4,6 \cdot 10^{-08}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	23,1
22v24	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$4,7 \cdot 10^{-08}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	9,0
23v24	$5,1 \cdot 10^{-11}$	$3,2 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-08}$	7,5
24v24	$3,4 \cdot 10^{-12}$	$8,1 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-08}$	31,2

Tabelle A 2.9-8: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Öffnet nicht", Abschätzung für hohe Redundanzen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v16	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v16	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v16	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v16	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v16	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
7v16	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,4
8v16	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,9
9v16	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	5,8
10v16	$9,4 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	8,3
11v16	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	15,0
12v16	$3,9 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	31,4
13v16	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	58,0
14v16	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	45,2
15v16	$5,5 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$	14,8
16v16	$4,7 \cdot 10^{-10}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	13,8
2v24	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v24	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$6,8 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v24	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v24	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v24	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
7v24	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v24	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
9v24	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,4
10v24	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,6
11v24	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	4,9
12v24	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	5,5
13v24	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	6,8
14v24	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	9,4
15v24	$7,1 \cdot 10^{-08}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	15,4
16v24	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	29,2
17v24	$3,7 \cdot 10^{-09}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	59,0
18v24	$1,7 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	110,1
19v24	$1,9 \cdot 10^{-09}$	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	119,8
20v24	$2,3 \cdot 10^{-09}$	$9,1 \cdot 10^{-08}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	62,6
21v24	$2,2 \cdot 10^{-09}$	$9,2 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	23,1
22v24	$7,5 \cdot 10^{-10}$	$9,3 \cdot 10^{-08}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	9,0
23v24	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$6,4 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	7,5
24v24	$6,9 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	31,2

Tabelle A 2.9-9: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	4,2
2v3	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,2 \cdot 10^{-08}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	10,3
2v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	9,3
4v4	$1,9 \cdot 10^{-09}$	$7,8 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	23,1
2v6	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	7,5
4v6	$2,5 \cdot 10^{-08}$	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	17,7
5v6	$5,8 \cdot 10^{-10}$	$5,5 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-07}$	43,4
6v6	$5,5 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$8,8 \cdot 10^{-08}$	110,8
2v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	5,9
4v8	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	12,7
5v8	$4,8 \cdot 10^{-09}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	30,4
6v8	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	76,6
7v8	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	76,6
8v8	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-07}$	76,6

Tabelle A 2.9-10: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v3	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,5 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	10,3
2v4	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	9,3
4v4	$3,7 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-07}$	23,1
2v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	7,5
4v6	$5,0 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	17,7
5v6	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	43,4
6v6	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$2,9 \cdot 10^{-09}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	110,8
2v8	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	5,9
4v8	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	12,7
5v8	$9,7 \cdot 10^{-09}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	30,4
6v8	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	76,6
7v8	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	76,6
8v8	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	76,6

Tabelle A 2.9-11: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v3	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	10,3
2v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	9,3
4v4	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	23,1
2v6	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	7,5
4v6	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	17,7
5v6	$3,5 \cdot 10^{-09}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	43,4
6v6	$3,3 \cdot 10^{-11}$	$8,8 \cdot 10^{-09}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	110,8
2v8	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	5,9
4v8	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	12,7
5v8	$2,9 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	30,4
6v8	$8,3 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	76,6
7v8	$8,3 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	76,6
8v8	$8,3 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	76,6

Tabelle A 2.9-12: Vorsteuerventil (Magnetbetätigt), Ausfallart "Schließt nicht", Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v3	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$8,4 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	10,3
2v4	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	9,3
4v4	$4,8 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	23,1
2v6	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	7,5
4v6	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	17,7
5v6	$1,5 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	43,4
6v6	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	110,8
2v8	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v8	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	5,9
4v8	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	12,7
5v8	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	30,4
6v8	$3,6 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	76,6
7v8	$3,6 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	76,6
8v8	$3,6 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	76,6

A 2.10 RÜCKSCHLAGVENTIL

A 2.10.1 Komponentenpopulation Rückschlagventil

In früheren Untersuchungen wurden Gesamtpopulationen der Betriebsmittelarten Rückschlagventil (eigenmedium, absperribar und aufziehbar) und Rückschlagklappe sowie die entsprechenden Beobachtungszeiten differenziert ermittelt. Diese Ergebnisse führten zu einer Unterscheidung der Betriebsmittelarten Rückschlagventil und Rückschlagklappe in diesem Bericht. Als Konsequenz aus der Einführung dieser Unterscheidung ergibt sich, dass bei der Betriebsmittelart Rückschlagventil keine Ereignisse mit der Ausfallart "Öffnet nicht" beobachtet worden sind. Für diese Ausfallart können daher keine GVA-Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Für die Auswertung der Komponentenpopulation Rückschlagventil wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAN
- Antrieb: Eigenmedium

A 2.10.2 Ausgewertete Quellen für Rückschlagventil

Für die Auswertung der Ereignisse wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 mit einer Beobachtungszeit von 1.000 Komponentengruppenjahren ausgewertet.

A 2.10.3 Randbedingungen für Rückschlagventil

Für die Bewertung der Ereignisse wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle A 2.10-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-Nr	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00626		x	ME
00627		x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt sind. Durch das Kürzel "PLB" in der letzten Spalte "Verwendung" ist vermerkt, welche Randbedingung für den Leistungsbetrieb verwendet worden ist.

Tabelle A 2.10-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00626	Übertragbarkeit für Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	
	Übertragbarkeit für Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	PLB

A 2.10.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Rückschlagventil

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.10-3 bis Tabelle A 2.10-6 aufgeführt.

**Tabelle A 2.10-3: Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	4,9
3v3	$3,6 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$9,1 \cdot 10^{-07}$	4,1
2v4	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	8,0
3v4	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v4	$6,7 \cdot 10^{-09}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	8,0
2v6	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	8,4
3v6	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	7,7
4v6	$6,5 \cdot 10^{-08}$	$9,4 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v6	$5,6 \cdot 10^{-09}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-07}$	4,4
6v6	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$7,0 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	22,4
2v8	$8,0 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	8,0
3v8	$7,5 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	12,0
4v8	$8,5 \cdot 10^{-08}$	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	8,2
5v8	$3,0 \cdot 10^{-08}$	$7,6 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,7
6v8	$4,1 \cdot 10^{-09}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-07}$	4,0
7v8	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-07}$	12,8
8v8	$8,1 \cdot 10^{-12}$	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	66,3

**Tabelle A 2.10-4: Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
2v3	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,9
3v3	$7,2 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	4,1
2v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	8,0
3v4	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v4	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	8,0
2v6	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	8,4
3v6	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	7,7
4v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v6	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$8,6 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v6	$4,4 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	22,4
2v8	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	8,0
3v8	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	12,0
4v8	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	8,2
5v8	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,7
6v8	$8,2 \cdot 10^{-09}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$5,6 \cdot 10^{-10}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-07}$	12,8
8v8	$1,6 \cdot 10^{-11}$	$3,5 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-07}$	66,3

**Tabelle A 2.10-5: Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,9
3v3	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
2v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	8,0
3v4	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$4,0 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	8,0
2v6	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	8,4
3v6	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	7,7
4v6	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v6	$3,3 \cdot 10^{-08}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v6	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	22,4
2v8	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	8,0
3v8	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	12,0
4v8	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	8,2
5v8	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	4,7
6v8	$2,5 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$1,7 \cdot 10^{-09}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	12,8
8v8	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	66,3

**Tabelle A 2.10-6: Rückschlagventil, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
3v3	$9,4 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	8,0
3v4	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	8,0
2v6	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	8,4
3v6	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	7,7
4v6	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v6	$5,7 \cdot 10^{-09}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	22,4
2v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	8,0
3v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	12,0
4v8	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	8,2
5v8	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,7
6v8	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$7,2 \cdot 10^{-09}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	12,8
8v8	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	66,3

A 2.11 RÜCKSCHLAGKLAPPE

A 2.11.1 Komponentenpopulation Rückschlagklappe

In früheren Untersuchungen wurden Gesamtpopulationen der Betriebsmittelarten Rückschlagventil (eigenmedium, absperibar und aufziehbar) und Rückschlagklappe sowie die entsprechenden Beobachtungszeiten differenziert ermittelt. Diese Ergebnisse führten zu einer Unterscheidung der Betriebsmittelarten Rückschlagventil und Rückschlagklappe in diesem Bericht. Für die Auswertung der Komponentenpopulation Rückschlagklappe wurden Armaturen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KAP
- Antrieb: Eigenmedium

A 2.11.2 Ausgewertete Quellen für Rückschlagklappe

Für die Auswertung der Ereignisse wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus den Zeiträumen ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 800 Komponentengruppenjahre,
- internationale Betriebserfahrung (IRS) ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 ,
Beobachtungszeit: 3.000 Komponentengruppenjahre

A 2.11.3 Randbedingungen für Rückschlagklappe

Für die Bewertung der Ereignisse wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Öffnet nicht" und "Schließt nicht" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.11-1 dargestellt. Zusätzlich ist in der Spalte "Quelle" angegeben, ob das jeweilige Ereignis in der deutschen Betriebserfahrung (ME) oder in der internationalen Betriebserfahrung (IRS) beobachtet worden ist.

Tabelle A 2.11-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-Nr	Öffnet nicht	Schließt nicht	Quelle
00069		x	ME
00071		x	ME
00072		x	ME
00113		x	IRS
00117		x	IRS
00121		x	IRS
00122		x	IRS
00313		x	IRS
00569		x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.11-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind. Die Randbedingungen "ständig durchströmt" und "selten durchströmt" wurden schon in dem Fachband zum PSA-Leitfaden /MET 97/ unterschieden und werden in der Spalte "Verwendung" durch das Kürzel "FRB" gekennzeichnet.

Tabelle A 2.11-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00069 00071 00072 00122 00313 00569	ständig durchströmt	FRB
	selten durchströmt	FRB
00113	mit verfahrenstechnischer Überwachung der Geschlossen-Stellung	
	ohne verfahrenstechnische Überwachung der Geschlossen-Stellung	KAR
00117	mindestens alle 2 Jahre 1 Strang versetzt geprüft (Inneninspektion)	
	keine Drucküberwachung, keine regelmäßige Inneninspektion	KAR
	mit Drucküberwachung wie z.B. für Erst- und Zweitabspernung	
00121	Nichtmetallische Dichtflächen	KAR
	Metallische Dichtflächen	

A 2.11.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Rückschlagklappe

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.11-3 bis Tabelle A 2.11-10 aufgeführt.

Tabelle A 2.11-3: Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,8
2v8	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	5,2

Tabelle A 2.11-4: Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v4	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v6	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v6	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,8
2v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v8	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	5,2

Tabelle A 2.11-5: Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v4	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v4	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,8
2v8	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v8	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
8v8	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	5,2

Tabelle A 2.11-6: Rückschlagklappe (ständig durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v4	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$6,8 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v4	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	$6,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$9,7 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v6	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v6	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	4,8
2v8	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v8	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
7v8	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
8v8	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	5,2

Tabelle A 2.11-7: Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
3v4	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v4	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,3
2v6	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v6	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
6v6	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	4,7
2v8	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	4,4
3v8	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v8	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v8	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$6,7 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
8v8	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	5,1

Tabelle A 2.11-8: Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,3
2v6	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
3v6	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v8	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,4
3v8	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v8	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v8	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v8	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	5,1

Tabelle A 2.11-9: Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,3
2v6	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,4
3v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	5,1

Tabelle A 2.11-10: Rückschlagklappe (selten durchströmt), Ausfallart "Schließt nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streu faktor (verbreitere Verteilung)
2v2	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v4	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v4	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,3
2v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,7
2v8	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
3v8	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v8	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
7v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
8v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	5,1

A 2.12 WÄRMETAUSCHER

A 2.12.1 Komponentenpopulation Wärmetauscher

In /MET 97/ wird bei der Komponente Wärmetauscher zwischen Rohrwärmetauscher und Plattenwärmetauscher unterschieden. Alle berücksichtigten Ereignisse stammen aus der internationalen Betriebserfahrung (IRS). Die Unterscheidung wurde zum damaligen Zeitpunkt der Auswertung (Risikostudie Biblis, Phase B) aufgrund technischer Überlegungen eingeführt, dass für diese beiden Wärmetauscherarten ein unterschiedliches GVA-Verhalten zu unterstellen ist, obwohl aus den Ereignisbeschreibungen aus der internationalen Betriebserfahrung nur in wenigen Fällen zu erkennen ist, um welche Art von Wärmetauscher es sich jeweils handelte. Die beobachteten GVA-Ereignisse wurden deshalb damals mittels Expertenabschätzungen unterschiedlich auf die beiden Wärmetauscherarten übertragen, wobei pauschal unterstellt wurde, dass für Rohrwärmetauscher ohne Berücksichtigung der Wasserqualität ein deutlich günstigeres GVA-Verhalten zu erwarten ist, als international beobachtet wurde.

Bei der jetzt durchgeführten Neubewertung der GVA-Ereignisse sind aber alle beteiligten Experten auf Grund der beobachteten Schadensphänomene zu der Meinung gekommen, dass das Kriterium der Qualität des Kühlwassers ein viel wesentlicheres Unterscheidungsmerkmal für die GVA-Bewertung von Wärmetauschern ist, und zudem aus den vorliegenden (ausschließlich internationaler) Betriebserfahrung kein belastbarer Hinweis vorliegt, dass Rohrwärmetauscher deutlich günstiger sind. Deshalb wurde die alte Unterscheidung aufgegeben und für diesen Bericht alle beobachteten Ereignisse für eine Komponentenpopulation Wärmetauscher in wasserführenden Systemen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wasserqualitäten berücksichtigt. Für die Auswertung der Komponentenpopulation Wärmetauscher wurden Komponenten mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KCA
- Betriebsmedium: Wasser

A 2.12.2 Ausgewertete Quellen für Wärmetauscher

Für die Auswertung der Ereignisse wurde die internationale Betriebserfahrung (IRS) ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 mit einer gesamten Beobachtungszeit von 2.000 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.12.3 Randbedingungen für Wärmetauscher

Die beobachteten Ereignisse sind Tabelle A 2.12-1 aufgeführt.

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.12-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingung für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden ist. Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter sind in der Spalte "Verwendung" mit "ZRB" gekennzeichnet.

Tabelle A 2.12-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-Nr	Keine Wärmeübertragung	Quelle
00123	x	IRS
00124	x	IRS
00125	x	IRS
00126	x	IRS
00127	x	IRS
00128	x	IRS
00576	x	IRS
00577	x	IRS

Tabelle A 2.12-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00123 00125	Medium Deionat	ZRB
00126 00127 00128 00576 00577	Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser) und Differenzdruckmessung und WKP und Taproggeanlage oder äquivalente Maßnahmen	ZRB
	Medium kein Deionat (z. B. Nebenkühlwasser), selten geprüft, ohne Überwachung und Reinigung	KAR

A 2.12.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Wärmetauscher

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Keine Wärmeübertragung" sind in Tabelle A 2.12-3 bis Tabelle A 2.12-14 aufgeführt.

**Tabelle A 2.12-3: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v6	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v6	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v8	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v8	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,2

**Tabelle A 2.12-4: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v4	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v8	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v8	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
8v8	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	4,2

**Tabelle A 2.12-5: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v4	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v6	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v6	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v8	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v8	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
7v8	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
8v8	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,2

**Tabelle A 2.12-6: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$8,3 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	4,1
2v4	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v4	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,1
2v6	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v6	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,2
2v8	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v8	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v8	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
7v8	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
8v8	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	4,2

**Tabelle A 2.12-7: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauerwasser,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v4	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	4,1
3v4	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v4	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	5,8
2v6	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	6,1
3v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,4
4v6	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v6	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
6v6	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	7,8
2v8	$5,9 \cdot 10^{-08}$	$7,8 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	9,9
3v8	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	6,6
4v8	$8,5 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	4,8
5v8	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	4,5
8v8	$9,5 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	10,5

**Tabelle A 2.12-8: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauerwasser,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v4	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v6	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	6,1
3v6	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	4,4
4v6	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
5v6	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	7,8
2v8	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	9,9
3v8	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	6,6
4v8	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	4,8
5v8	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v8	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
7v8	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,5
8v8	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	10,5

**Tabelle A 2.12-9: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauerwasser,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v4	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v4	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v6	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	6,1
3v6	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v6	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v6	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	7,8
2v8	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	9,9
3v8	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	6,6
4v8	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,8
5v8	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
8v8	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	10,5

**Tabelle A 2.12-10: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium Sauerwasser,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	5,1
2v4	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	5,8
2v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	6,1
3v6	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v6	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v6	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	7,8
2v8	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	9,9
3v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	6,6
4v8	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	4,8
5v8	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
7v8	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,5
8v8	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	10,5

**Tabelle A 2.12-11: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein
Saubwasser und Differenzdruckmessung und WKP,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v4	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,6
2v6	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v8	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
7v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v8	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	5,5

**Tabelle A 2.12-12: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein
Saubерwasser und Differenzdruckmessung und WKP,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktıl	50%-Fraktıl	95%-Fraktıl	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v4	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v4	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,6
2v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v8	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
7v8	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v8	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	5,5

**Tabelle A 2.12-13: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein
Saubерwasser und Differenzdruckmessung und WKP,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktıl	50%-Fraktıl	95%-Fraktıl	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v4	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v4	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,6
2v6	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v6	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	5,1
2v8	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
7v8	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v8	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	5,5

**Tabelle A 2.12-14: Wärmetauscher, Ausfallart "Keine Wärmeübertragung", Medium kein
Saubерwasser und Differenzdruckmessung und WKP,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktıl	50%-Fraktıl	95%-Fraktıl	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	4,4
2v4	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v4	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	4,6
2v6	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	4,3
6v6	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	5,1
2v8	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
7v8	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,4
8v8	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	5,5

A 2.13 VENTILATOR

A 2.13.1 Komponentenpopulation Ventilator

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Ventilator wurden Ventilatoren mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KNG
- Antrieb: Elektrischer Motorantrieb

A 2.13.2 Ausgewertete Quellen für Ventilator

Für die Auswertung der Ereignisse wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 500 Komponentengruppenjahre
- anlagenspezifische Betriebserfahrung Biblis B vom 01.08.1977 bis 30.04.1981, Beobachtungszeit: 48,75 Komponentengruppenjahre

Für die Berechnung wurden diese beiden Quellen zu einer Quelle zusammengefasst. Für die Abschätzung des gesamten Zeitraumes wurde eine Beobachtungszeit von 530 Komponentengruppenjahren festgelegt, da die Betriebserfahrung von Biblis B teilweise in der Betriebserfahrung der meldepflichtigen Ereignisse enthalten ist. Die Betriebszeiten der Ventilatoren während dieses Zeitraumes wurden mit 140 Komponentengruppenjahren abgeschätzt. Diese Betriebszeit ist als Beobachtungszeit für die Ausfallart "Betriebsversagen" zu berücksichtigen. Die Beobachtungszeit für die Ausfallart ergibt sich dann zu 390 Komponentengruppenjahren.

A 2.13.3 Randbedingungen für Ventilator

Für die Bewertung der Ereignisse an Ventilatoren wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Startet nicht" und "Betriebsversagen" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.13-1 dargestellt.

Tabelle A 2.13-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Startet nicht	Betriebsversagen	Quelle
00073		x	ME
00074		x	ME
00075		x	ME
00104	x		ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.13-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingung für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden ist.

Tabelle A 2.13-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00104	startet nicht betrieblich oder Anforderung aus Reaktorschutz bei Geamatic, Simatic	KAR
	bei Vorrangbaugruppen Iskamatic: startet nicht aus Reaktorschutz	

A 2.13.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Ventilator

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Startet nicht" sind in Tabelle A 2.13-3 bis Tabelle A 2.13-6 aufgeführt.

Für die Ausfallart "Betriebsversagen" wird eine Ausfallrate berechnet. Die Fehlerentdeckungszeit für einen GVA ist die vorgesehene Betriebszeit des Ventilators, in probabilistischen Analysen auch als Mission Time bezeichnet. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Ausfallrate mit der Mission Time. In Tabelle A 2.13-7 sind die Ausfallraten in der Einheit [1/h] aufgeführt.

**Tabelle A 2.13-3: Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	7,8
2v4	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$7,4 \cdot 10^{-08}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	11,8
2v6	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$6,1 \cdot 10^{-08}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	7,2
6v6	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	28,8
2v8	$3,7 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	5,5
3v8	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v8	$9,3 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$3,9 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$2,2 \cdot 10^{-09}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	16,1
8v8	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	74,4

**Tabelle A 2.13-4: Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	7,8
2v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	11,8
2v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	7,2
6v6	$4,0 \cdot 10^{-09}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	28,8
2v8	$7,5 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	5,5
3v8	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v8	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$7,8 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$4,4 \cdot 10^{-09}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	16,1
8v8	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	74,4

**Tabelle A 2.13-5: Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	7,8
2v4	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	11,8
2v6	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	7,2
6v6	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	28,8
2v8	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	5,5
3v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v8	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v8	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	5,5
7v8	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	16,1
8v8	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	74,4

**Tabelle A 2.13-6: Ventilator, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	7,8
2v4	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	11,8
2v6	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	7,2
6v6	$5,2 \cdot 10^{-08}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	28,8
2v8	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	5,5
3v8	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v8	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v8	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	5,5
7v8	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	16,1
8v8	$1,4 \cdot 10^{-09}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	74,4

Tabelle A 2.13-7: Ventilator, Ausfallart "Betriebsversagen", Ausfallraten in 1/h

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$8,5 \cdot 10^{-08}$	4,0
2v3	$2,9 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-08}$	$9,6 \cdot 10^{-08}$	$9,0 \cdot 10^{-08}$	4,0
3v3	$4,8 \cdot 10^{-09}$	$3,7 \cdot 10^{-08}$	$9,6 \cdot 10^{-08}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	5,1
2v4	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$8,4 \cdot 10^{-08}$	$8,2 \cdot 10^{-08}$	4,0
3v4	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$8,0 \cdot 10^{-08}$	$6,6 \cdot 10^{-08}$	4,3
4v4	$1,6 \cdot 10^{-09}$	$2,3 \cdot 10^{-08}$	$8,2 \cdot 10^{-08}$	$4,4 \cdot 10^{-08}$	6,2
2v6	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$4,4 \cdot 10^{-08}$	$7,0 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-08}$	4,0
3v6	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$4,2 \cdot 10^{-08}$	$6,7 \cdot 10^{-08}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	4,0
4v6	$8,4 \cdot 10^{-09}$	$3,4 \cdot 10^{-08}$	$6,3 \cdot 10^{-08}$	$5,1 \cdot 10^{-08}$	4,2
5v6	$2,1 \cdot 10^{-09}$	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$4,2 \cdot 10^{-08}$	4,6
6v6	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-08}$	$6,7 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-08}$	10,0
2v8	$8,1 \cdot 10^{-09}$	$3,4 \cdot 10^{-08}$	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-08}$	4,1
3v8	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$3,5 \cdot 10^{-08}$	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-08}$	4,0
4v8	$9,4 \cdot 10^{-09}$	$3,2 \cdot 10^{-08}$	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$4,6 \cdot 10^{-08}$	4,0
5v8	$5,7 \cdot 10^{-09}$	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$4,1 \cdot 10^{-08}$	4,2
6v8	$1,9 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-08}$	$5,0 \cdot 10^{-08}$	$3,6 \cdot 10^{-08}$	4,4
7v8	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-08}$	$4,8 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-08}$	5,3
8v8	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-09}$	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-08}$	17,9

A 2.14 KREISELPUMPE

A 2.14.1 Komponentenpopulation Kreiselpumpe

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Kreiselpumpe wurden Pumpen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: KPA

A 2.14.2 Ausgewertete Quellen für Kreiselpumpe

Für die Auswertung der Ereignisse an Kreiselpumpen wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 und von 01.01.1990 bis 31.12.1994,
Beobachtungszeit: 1.000 Komponentengruppenjahre
- internationale Betriebserfahrung IRS aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 3.000 Komponentengruppenjahre

Die Betriebszeiten der Kreiselpumpen aus den Meldepflichtigen Ereignissen wurden zu 80 Komponentengruppenjahren abgeschätzt. Damit ergibt sich als Beobachtungszeit für die Ausfallart "Startet nicht" 920 Komponentengruppenjahre und für die Ausfallart "Betriebsversagen" 80 Komponentengruppenjahre. Die Betriebszeiten der Kreiselpumpen aus der Betriebserfahrung IRS wurden analog zu 400 Komponentengruppenjahren abgeschätzt.

A 2.14.3 Randbedingungen für Kreiselpumpe

Für die Bewertung der Ereignisse an Kreiselpumpen wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Startet nicht" und "Betriebsversagen" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den beobachteten Ereignissen ist in Tabelle A 2.14-1 dargestellt. Zusätzlich ist in der Spalte "Quelle" angegeben, ob das jeweilige Ereignis in der deutschen Betriebserfahrung (ME) oder in der internationalen Betriebserfahrung (IRS) beobachtet worden ist.

Tabelle A 2.14-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Startet nicht	Betriebsversagen	Quelle
00076	x		ME
00078	x		ME
00082	x		ME
00106	x		ME
00130		x	IRS
00131		x	IRS
00134		x	IRS
00135	x		IRS
00247		x	ME
00435	x		ME

GVA-NR	Startet nicht	Betriebsversagen	Quelle
00478		x	ME
00521		x	ME
00542	x		ME
00570	x		ME
00640		x	ME
00642	x		ME
00643		x	ME

Für die Ausfallart "Startet nicht" sind 9 Ereignisse und für die Ausfallart "Betriebsversagen" sind 8 Ereignisse beobachtet worden. Das Ereignis mit der GVA-Nummer 00135 ist innerhalb der Gruppe der Ereignisse mit der Ausfallart "Startet nicht" das einzige Ereignis, das aus der internationalen Betriebserfahrung stammt. Da die bei diesem Ereignis aufgetretenen Phänomene (Gaseintrag in Saugleitung) auch in der deutschen Betriebserfahrung (GVA-Nummer 00076, 00078, 00570) beobachtet worden sind, wird die Quelle der internationalen Betriebserfahrung bei den weiteren Berechnungen für die Ausfallart "Startet nicht" nicht mehr berücksichtigt.

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.14-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden sind. Die Randbedingungen "mit Gasansammlung" und "ohne Gasansammlung" wurden bereits in /MET 97/ unterschieden und werden auch hier weiterhin unterschieden (Kennzeichnung mit "FRB"). Die Randbedingungen mit unterschiedlichen Redundanzgraden werden bei der Berechnung berücksichtigt (Kennzeichnung mit "BRB"). Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter sind in der Spalte "Verwendung" mit ZRB gekennzeichnet.

Tabelle A 2.14-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00076 00078 00570	Übertragbarkeit für Pumpen mit einer Saugleitung, in der eine Gasansammlung möglich ist	FRB
	Übertragbarkeit für Pumpen mit einer Saugleitung, in der keine Gasansammlung möglich ist	FRB
00130	Bewertung für 2 strängige Systeme	BRB
	Bewertung für 4 strängige Systeme (Expertenschätzung)	
00131	Übertragbarkeit für trockene Aufstellung	ZRB
	Übertragbarkeit für Aufstellung in feuchten Räumen, z.B. Einlaufbauwerk	KAR
00134	Übertragbarkeit für Pumpen mit gemeinsamer Ansaugung ohne gesicherte Zulaufhöhe	KAR
	Übertragbarkeit für Pumpen mit getrennter Ansaugung oder gesicherter Zulaufhöhe	ZRB

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00247	nur für Unterwasserpumpen übertragbar	KAR
	Ereignis nicht berücksichtigt	ZRB
00642	Nur auf Spaltrohrpumpen übertragbar	KAR
00643	Langfristige Anforderung	KAR
	Anforderungsdauer < 24 h	

A 2.14.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Kreiselpumpe

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Startet nicht" sind in Tabelle A 2.14-3 bis Tabelle A 2.14-10 aufgeführt.

Für die Ausfallart "Betriebsversagen" wird eine Ausfallrate berechnet. Die Fehlerentdeckungszeit für einen GVA ist die vorgesehene Betriebszeit der Kreiselpumpe, in probabilistischen Analysen auch als Mission Time bezeichnet. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Ausfallrate mit der Mission Time. In Tabelle A 2.14-11 und Tabelle A 2.14-12 sind die Ausfallraten in der Einheit [1/h] aufgeführt.

Tabelle A 2.14-3: Kreiselpumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht", Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v6	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
6v6	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	8,5
2v8	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	5,2
8v8	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	11,8

**Tabelle A 2.14-4: Kreispumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v6	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,5
6v6	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	8,5
2v8	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	5,2
8v8	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	11,8

**Tabelle A 2.14-5: Kreispumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,9
2v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	5,8
2v6	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,5
6v6	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	8,5
2v8	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,5
7v8	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	5,2
8v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	11,8

**Tabelle A 2.14-6: Kreispumpe (ohne Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	4,0
2v3	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	4,9
2v4	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v4	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	4,2
4v4	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	5,8
2v6	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v6	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	4,0
4v6	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	4,2
5v6	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	4,5
6v6	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	8,5
2v8	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	4,0
3v8	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	4,0
4v8	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	4,1
5v8	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	4,2
6v8	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	4,5
7v8	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	5,2
8v8	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	11,8

**Tabelle A 2.14-7: Kreiselpumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	5,5
2v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,7
6v6	$9,0 \cdot 10^{-07}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	7,7
2v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	5,2
8v8	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	10,6

**Tabelle A 2.14-8: Kreispumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	5,5
2v6	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,7
6v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	7,7
2v8	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v8	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v8	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v8	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v8	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v8	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	5,2
8v8	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	10,6

**Tabelle A 2.14-9: Kreispumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,9
2v4	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,7
6v6	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	7,7
2v8	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v8	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v8	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v8	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v8	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,5
7v8	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	5,2
8v8	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	10,6

**Tabelle A 2.14-10: Kreispumpe (mit Gaseintrag), Ausfallart "Startet nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	4,0
2v3	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v3	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	4,9
2v4	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v4	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	4,2
4v4	$8,3 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$	5,5
2v6	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v6	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	4,1
4v6	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-4}$	4,2
5v6	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	4,7
6v6	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	7,7
2v8	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	4,0
3v8	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	4,0
4v8	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	4,1
5v8	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	4,2
6v8	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	4,5
7v8	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	5,2
8v8	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	10,6

Tabelle A 2.14-11: Kreiselpumpe, Ausfallart "Betriebsversagen", konservativ abdeckende Randbedingungen, Ausfallraten in [1/h]

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	4,0
2v3	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$8,3 \cdot 10^{-07}$	4,0
3v3	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	4,5
2v4	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-07}$	4,0
3v4	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	4,1
4v4	$5,1 \cdot 10^{-08}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	5,0
2v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	4,1
3v6	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$5,1 \cdot 10^{-07}$	4,0
4v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	4,1
5v6	$6,8 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	4,3
6v6	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	6,3
2v8	$5,0 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	4,1
3v8	$8,5 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	4,0
4v8	$9,9 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-07}$	4,0
5v8	$9,2 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	4,0
6v8	$5,7 \cdot 10^{-08}$	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-07}$	4,2
7v8	$2,1 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	4,4
8v8	$2,5 \cdot 10^{-09}$	$9,8 \cdot 10^{-08}$	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	8,4

Tabelle A 2.14-12: Kreiselpumpe, Ausfallart "Betriebsversagen", Trockene Aufstellung mit getrennter Ansaugung oder gesicherter Zulaufhöhe, Ausfallraten in [1/h]

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	4,0
2v3	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	4,0
3v3	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-07}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	4,7
2v4	$7,7 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-07}$	4,0
3v4	$7,1 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-07}$	4,1
4v4	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	6,2
2v6	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	4,2
3v6	$3,3 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	4,0
4v6	$3,5 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	4,0
5v6	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	4,3
6v6	$2,2 \cdot 10^{-09}$	$8,9 \cdot 10^{-08}$	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	9,2
2v8	$6,5 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	4,6
3v8	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-07}$	4,2
4v8	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	4,0
5v8	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	4,0
6v8	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	4,2
7v8	$3,8 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	4,9
8v8	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^{-08}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	14,2

A 2.15 DIESELAGGREGATE

A 2.15.1 Komponentenpopulation Dieselaggregat

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Dieselaggregate wurden Dieselaggregate mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: MMD
- Antrieb: Dieselmotor

Insgesamt ist diese Komponentenpopulation auf Notstromdiesel und Notspeisediesel anzuwenden.

A 2.15.2 Ausgewertete Quellen für Dieselaggregate

Für die Auswertung der Ereignisse an Dieselaggregaten wurden die meldepflichtigen Ereignisse für die Zeiträume bis zum 31.03.1987 und vom 01.01.1994 bis zum 31.12.1998 ausgewertet. Hierbei wurden für jedes Kernkraftwerk die zu berücksichtigenden Komponentengruppen entsprechend den stattgefundenen Nachrüstmaßnahmen anlagenspezifisch ermittelt. Als Bezugszeitraum für die Ausfallart "Startet nicht" wurde ein Wert von 326 Komponentengruppenjahren ermittelt.

Die Laufzeiten der Dieselaggregate wurden aus den Betriebszeiten bei den Wiederkehrenden Prüfungen (WKP) abgeschätzt. Als Bezugszeitraum wurde ein Wert von einem Komponentengruppenjahr ermittelt.

A 2.15.3 Randbedingungen für Dieselaggregate

Für die Bewertung der Ereignisse wurden zuerst die Randbedingungen der Ausfallarten "Startet nicht" und "Betriebsversagen" unterschieden. Die Zuordnung dieser Ausfallarten zu den Ereignissen ist in Tabelle A 2.15-1 dargestellt.

Tabelle A 2.15-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Startet nicht	Betriebsversagen	Quelle
00068		x	ME
00077		x	ME
00185		x	ME
00187		x	ME
00190	x		ME
00193	x		ME
00195	x		ME
00197	x		ME
00386		x	ME
00405		x	ME
00453	x		ME
00523		x	ME

GVA-NR	Startet nicht	Betriebsversagen	Quelle
00532	x		ME
00543		x	ME
00548	x		ME
00580		x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.15-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind.

Tabelle A 2.15-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00187	Wälzlager am Generator	KAR
	Gleitlager mit Ölvorwärmung am Generator	
00405	Diesel mit nach außen führenden Ölleitungen	KAR
	Diesel ohne nach außen führende Ölleitungen	
00523	Laufzeit kleiner als 2 Stunden	
	Laufzeit größer als 2 Stunden	KAR

A 2.15.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Dieselaggregat

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Startet nicht" sind in Tabelle A 2.15-3 bis Tabelle A 2.15-6 aufgeführt.

Für die Ausfallart "Betriebsversagen" wird eine Ausfallrate berechnet. Die Fehlerentdeckungszeit für einen GVA ist die vorgesehene Betriebszeit des Dieselaggregats, in probabilistischen Analysen auch als Mission Time bezeichnet. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Ausfallrate mit der Mission Time. In Tabelle A 2.15-7 sind die Ausfallraten in der Einheit [1/h] aufgeführt.

Tabelle A 2.15-3: Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	5,5
2v4	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	6,8
2v5	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v5	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v5	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,8
5v5	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	8,6

Tabelle A 2.15-4: Dieselaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v4	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	6,8
2v5	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v5	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v5	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,8
5v5	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	8,6

Tabelle A 2.15-5: Diesellaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-04}$	5,5
2v4	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$9,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$7,3 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	6,8
2v5	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v5	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v5	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,8
5v5	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	8,6

Tabelle A 2.15-6: Diesellaggregat, Ausfallart "Startet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,5 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$4,2 \cdot 10^{-03}$	$2,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v3	$1,3 \cdot 10^{-03}$	$2,7 \cdot 10^{-03}$	$4,1 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v3	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	5,5
2v4	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	$3,9 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v4	$5,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$3,2 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	4,4
4v4	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,2 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	6,8
2v5	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,6 \cdot 10^{-03}$	$3,6 \cdot 10^{-03}$	$3,8 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v5	$7,8 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-03}$	$3,1 \cdot 10^{-03}$	$2,8 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v5	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	4,8
5v5	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-03}$	$8,8 \cdot 10^{-04}$	8,6

Tabelle A 2.15-7: Diesellaggregat, Ausfallart "Betriebsversagen", konservativ abdeckende Randbedingungen, Ausfallraten in [1/h]

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,6
2v4	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	5,2
2v5	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v5	$8,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v5	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,3
5v5	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	6,0

A 2.16 MESSROHRLEITUNG

A 2.16.1 Komponentenpopulation Messrohrleitung

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Messrohrleitung wurden Rohrleitungen mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: MRA
- Funktion: Messrohrleitung für Druckmessumformer

A 2.16.2 Ausgewertete Quellen für Messrohrleitung

Für die Auswertung der Ereignisse an Messrohrleitungen wurden folgende Quellen berücksichtigt:

- meldepflichtige Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 31.12.1995,
Beobachtungszeit: 6.000 Komponentengruppenjahre
- internationale Betriebserfahrung IRS aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985,
Beobachtungszeit: 1.000 Komponentengruppenjahre

A 2.16.3 Randbedingungen für Messrohrleitung

Für die Bewertung der Ereignisse an Messrohrleitungen wurde nur die Ausfallart "Signal geht nicht durch" berücksichtigt. Die beobachteten Ereignisse sind in Tabelle A 2.16-1 mit Zuordnung der Quelle aufgeführt.

Tabelle A 2.16-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Signal geht nicht durch	Quelle
00004	x	ME
00133	x	IRS
00147	x	ME
00154	x	ME
00240	x	ME
00252	x	ME
00255	x	ME
00349	x	ME
00433	x	ME

Es sind insgesamt 9 Ereignisse beobachtet worden. Das Ereignis mit der GVA-Nummer 00133 ist das einzige Ereignis, das aus der internationalen Betriebserfahrung stammt. Da die bei diesem Ereignis aufgetretenen Phänomene (Verstopfung infolge Verschmutzung) auch in der deutschen Betriebserfahrung (GVA-Nummer 00154) beobachtet worden sind, wird die Quelle der internationalen Betriebserfahrung bei den weiteren Berechnungen nicht mehr berücksichtigt.

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.16-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt worden sind. Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter sind mit "ZRB" gekennzeichnet.

Tabelle A 2.16-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00004	außenliegende Messleitung (nicht frostfrei)	KAR
	nicht außenliegende Messleitung (frostfrei)	
00147	Übertragbarkeit für Anlagenzustände vor Anfahrprüfung und nicht vergleichbarer überwachte Messstellen	
	Übertragbarkeit für Anlagenzustände nach Anfahrprüfung oder für vergleichbarer überwachte Messstellen	PLB
00154	Übertragbarkeit für Schmutzwasser (z.B. Nebenkühlwasser)	KAR
	Übertragbarkeit für Schmutzwasser (z.B. Nebenkühlwasser) mit WKP auf Durchlässigkeit der Messleitungen	
	Übertragbarkeit für Sauberwasser	ZRB
00240 00349	Erkennungsmöglichkeit vorhanden durch anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung	ZRB
	keine anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach jeder Instandhaltung	KAR
	Messungen, die nicht ständig Vollausschlag haben und an die ein Grenzwert "Hoch" angeschlossen ist	0
00252	Übertragbarkeit für Anlagenzustände vor Anfahrprüfung	
	Übertragbarkeit für Anlagenzustände nach Anfahrprüfung	PLB

A 2.16.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Messrohrleitung

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Signal geht nicht durch" sind in Tabelle A 2.16-3 bis Tabelle A 2.16-10 aufgeführt.

Tabelle A 2.16-3: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v4	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	4,2
2v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v6	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
6v6	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	4,5
2v9	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v9	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
7v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
8v9	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
9v9	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	5,4
2v12	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$8,6 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v12	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,3
7v12	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,4
8v12	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
9v12	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
10v12	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	4,1
11v12	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	4,3
12v12	$3,5 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	6,6

Tabelle A 2.16-4: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v6	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,5
2v9	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v9	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v9	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
7v9	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
8v9	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
9v9	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	5,4
2v12	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
6v12	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	4,3
7v12	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	4,4
8v12	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
9v12	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
10v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
11v12	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	4,3
12v12	$6,9 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	6,6

Tabelle A 2.16-5: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v4	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
2v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v6	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
2v9	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v9	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v9	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,2
7v9	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
8v9	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
9v9	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	5,4
2v12	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v12	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v12	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,3
7v12	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v12	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
9v12	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
10v12	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
11v12	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,3
12v12	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	6,6

Tabelle A 2.16-6: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v4	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
2v6	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v6	$5,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,5
2v9	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v9	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v9	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
6v9	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
7v9	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
8v9	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
9v9	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	5,4
2v12	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v12	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
6v12	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	4,3
7v12	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
8v12	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
9v12	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
10v12	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,1
11v12	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	4,3
12v12	$9,0 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	6,6

Tabelle A 2.16-7: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$9,3 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	4,5
2v4	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	4,7
4v4	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-07}$	4,7
2v6	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$8,2 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,3
4v6	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	5,0
5v6	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-07}$	5,2
6v6	$6,8 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	5,0
2v9	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v9	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	4,3
5v9	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,9
6v9	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	5,7
7v9	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-07}$	5,5
8v9	$6,4 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$4,4 \cdot 10^{-07}$	5,0
9v9	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	6,8
2v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$9,5 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v12	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$9,1 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v12	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	6,0
9v12	$9,7 \cdot 10^{-08}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	5,6
10v12	$5,2 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-07}$	5,1
11v12	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	4,9
12v12	$4,5 \cdot 10^{-09}$	$6,4 \cdot 10^{-08}$	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	9,0

Tabelle A 2.16-8: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	4,5
2v4	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,7
4v4	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	4,7
2v6	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	4,3
4v6	$9,9 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	5,0
5v6	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v6	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-07}$	5,0
2v9	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	4,3
5v9	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	4,9
6v9	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	5,7
7v9	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	5,5
8v9	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-07}$	5,0
9v9	$3,6 \cdot 10^{-08}$	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	6,8
2v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v12	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v12	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	6,0
9v12	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	5,6
10v12	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-07}$	5,1
11v12	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$8,2 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-07}$	4,9
12v12	$9,0 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$7,6 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	9,0

Tabelle A 2.16-9: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Saubermasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	4,5
2v4	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,7
4v4	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,7
2v6	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
4v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	5,0
5v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	5,2
6v6	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	5,0
2v9	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,3
5v9	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	4,9
6v9	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	5,7
7v9	$9,2 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	5,5
8v9	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	5,0
9v9	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	6,8
2v12	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v12	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	5,6
8v12	$9,3 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	6,0
9v12	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	5,6
10v12	$3,1 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	5,1
11v12	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$9,9 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,9
12v12	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-07}$	9,0

Tabelle A 2.16-10: Messrohrleitung, Ausfallart "Signal geht nicht durch", Sauberwasser und anforderungsgerechte Funktionsprüfung nach Instandhaltung, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,5
2v4	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,7
4v4	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,7
2v6	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	4,3
4v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	5,0
5v6	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	5,2
6v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	5,0
2v9	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,3
5v9	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,9
6v9	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	5,7
7v9	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	5,5
8v9	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,0
9v9	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	6,8
2v12	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v12	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v12	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,9
7v12	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	5,6
8v12	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	6,0
9v12	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	5,6
10v12	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	5,1
11v12	$6,9 \cdot 10^{-07}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	4,9
12v12	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	9,0

A 2.17 DRUCKMESSUMFORMER

A 2.17.1 Komponentenpopulation Druckmessumformer

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Druckmessumformer wurden Messumformer mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: -BP
- Funktion: Messumformer für Druck und Differenzdruck, linear und radizierend

Insgesamt ist diese Komponentenpopulation auf Druckmessumformer zur Erfassung von Druck, Füllstand und Durchfluss anzuwenden.

A 2.17.2 Ausgewertete Quellen für Druckmessumformer

Für die Auswertung der Ereignisse an Druckmessumformern wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 31.12.1995 mit einer Beobachtungszeit von 6.000 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.17.3 Randbedingungen für Druckmessumformer

Für die Bewertung der Ereignisse an Druckmessumformern wurde nur die Ausfallart "Falsches Ausgangssignal" berücksichtigt. Die beobachteten Ereignisse sind in Tabelle A 2.17-1 aufgeführt.

Tabelle A 2.17-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Falsches Ausgangssignal	Quelle
00084	x	ME
00085	x	ME
00256	x	ME
00571	x	ME
00578	x	ME
00652	x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.17-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingung für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden ist. Die zusätzlich berücksichtigten Randbedingungen mit nicht konservativ abdeckendem Charakter sind mit "ZRB" gekennzeichnet.

Tabelle A 2.17-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00084	nur für Bartonzellen übertragbar: Bewertung des Festklemmens des Messübertragungsgestänges	KAR
	Messumformer, allgemein (Bewertung der Schraubkappen): Prüfkonzent besser, Fehler wurde vor Leistungsbe- trieb erkannt	ZRB
00085	Druckmessung in einem Medium, dass seinen Druckin- halt schlagartig verändern kann (z.B. durch Druckstöße bei Abblasevorgängen)	KAR
	andere Druckmessungen	
00256 00578	Messumformer der Störfallatmosphäre bei KMV ausge- setzt	KAR
	andere Anforderungsfälle	
00571	nur für Bartonzellen übertragbar: Bewertung des Fest- klemmens des Messübertragungsgestänges	KAR
	Ereignis nicht berücksichtigt	ZRB

A 2.17.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Druckmessumformer

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Falsches Ausgangssignal" sind in
Tabelle A 2.17-3 bis Tabelle A 2.17-10 aufgeführt.

Tabelle A 2.17-3: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreitere Verteilung)	Streufaktor (verbreitere Verteilung)
2v3	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$7,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v4	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	6,0
2v6	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v6	$8,8 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,6
6v6	$2,2 \cdot 10^{-08}$	$7,6 \cdot 10^{-07}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	9,9
2v9	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v9	$9,8 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v9	$5,5 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v9	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	4,4
7v9	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	4,7
8v9	$1,5 \cdot 10^{-08}$	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	5,6
9v9	$9,8 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	23,8
2v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v12	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,3
6v12	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v12	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	4,5
8v12	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,6
9v12	$4,8 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	4,8
10v12	$9,2 \cdot 10^{-09}$	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	5,4
11v12	$9,8 \cdot 10^{-10}$	$4,1 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	9,3
12v12	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$7,4 \cdot 10^{-08}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	59,5

Tabelle A 2.17-4: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	6,0
2v6	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v6	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	4,6
6v6	$4,5 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	9,9
2v9	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v9	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,4
7v9	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	4,7
8v9	$3,1 \cdot 10^{-08}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	5,6
9v9	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	23,8
2v12	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	4,2
5v12	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,3
6v12	$7,0 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,5
7v12	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	4,5
8v12	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	4,6
9v12	$9,6 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	4,8
10v12	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	5,4
11v12	$2,0 \cdot 10^{-09}$	$8,2 \cdot 10^{-07}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	9,3
12v12	$9,7 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	59,5

Tabelle A 2.17-5: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	6,0
2v6	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$9,7 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v6	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v6	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	9,9
2v9	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v9	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v9	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,4
7v9	$6,7 \cdot 10^{-07}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,7
8v9	$9,2 \cdot 10^{-08}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	5,6
9v9	$5,9 \cdot 10^{-09}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	23,8
2v12	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v12	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v12	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v12	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
8v12	$7,5 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,6
9v12	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,8
10v12	$5,5 \cdot 10^{-08}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	5,4
11v12	$5,9 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	9,3
12v12	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-06}$	59,5

Tabelle A 2.17-6: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,9
2v4	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v4	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	6,0
2v6	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v6	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v6	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	9,9
2v9	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v9	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v9	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v9	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	4,4
7v9	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	4,7
8v9	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	5,6
9v9	$2,5 \cdot 10^{-08}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	23,8
2v12	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v12	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v12	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,3
6v12	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,5
7v12	$6,3 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,5
8v12	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,6
9v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,8
10v12	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	5,4
11v12	$2,6 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	9,3
12v12	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	59,5

**Tabelle A 2.17-7: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-07}$	4,4
2v4	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$8,2 \cdot 10^{-07}$	$2,3 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	5,1
4v4	$2,9 \cdot 10^{-08}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-07}$	5,4
2v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	4,5
4v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	6,0
5v6	$3,4 \cdot 10^{-08}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	5,1
6v6	$2,1 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	9,9
2v9	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$5,4 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$7,3 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v9	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	4,7
5v9	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	6,1
6v9	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$2,9 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	7,7
7v9	$9,7 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	5,5
8v9	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-07}$	5,3
9v9	$5,8 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-08}$	$6,6 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-07}$	28,0
2v12	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v12	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	4,4
5v12	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	4,8
6v12	$7,1 \cdot 10^{-08}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	6,0
7v12	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	8,6
8v12	$1,0 \cdot 10^{-08}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-07}$	7,7
9v12	$3,2 \cdot 10^{-09}$	$1,8 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	5,8
10v12	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	4,9
11v12	$4,6 \cdot 10^{-11}$	$5,4 \cdot 10^{-08}$	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	11,2
12v12	$1,8 \cdot 10^{-12}$	$8,5 \cdot 10^{-09}$	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-07}$	80,8

**Tabelle A 2.17-8: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	4,4
2v4	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	5,1
4v4	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	5,4
2v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$8,3 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$6,7 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-06}$	4,5
4v6	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	6,0
5v6	$6,7 \cdot 10^{-08}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	5,1
6v6	$4,2 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	9,9
2v9	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,2
4v9	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	4,7
5v9	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	6,1
6v9	$7,7 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	7,7
7v9	$1,9 \cdot 10^{-08}$	$4,9 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-07}$	5,5
8v9	$2,4 \cdot 10^{-09}$	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	5,3
9v9	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$6,2 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-07}$	28,0
2v12	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$8,7 \cdot 10^{-06}$	$7,5 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v12	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-06}$	4,4
5v12	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	4,8
6v12	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	6,0
7v12	$5,4 \cdot 10^{-08}$	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	8,6
8v12	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$4,4 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-07}$	7,7
9v12	$6,4 \cdot 10^{-09}$	$3,5 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-07}$	5,8
10v12	$1,1 \cdot 10^{-09}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-07}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	4,9
11v12	$9,2 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-07}$	11,2
12v12	$3,7 \cdot 10^{-12}$	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-07}$	80,8

**Tabelle A 2.17-9: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen,
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$6,5 \cdot 10^{-07}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	4,4
2v4	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	5,1
4v4	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	5,4
2v6	$9,0 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	4,5
4v6	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	6,0
5v6	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	5,1
6v6	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	9,9
2v9	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v9	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,7
5v9	$6,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	6,1
6v9	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	7,7
7v9	$5,8 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	5,5
8v9	$7,3 \cdot 10^{-09}$	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	5,3
9v9	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	28,0
2v12	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v12	$9,0 \cdot 10^{-07}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	4,8
6v12	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	6,0
7v12	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	8,6
8v12	$6,0 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	7,7
9v12	$1,9 \cdot 10^{-08}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	5,8
10v12	$3,3 \cdot 10^{-09}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	4,9
11v12	$2,8 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-07}$	11,2
12v12	$1,1 \cdot 10^{-11}$	$5,1 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	80,8

**Tabelle A 2.17-10: Druckmessumformer, Ausfallart "Falsches Ausgangssignal", keine Bartonzellen,
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streu faktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,4
2v4	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	5,1
4v4	$7,6 \cdot 10^{-07}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	5,4
2v6	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	4,5
4v6	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	6,0
5v6	$8,7 \cdot 10^{-07}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	5,1
6v6	$5,5 \cdot 10^{-08}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	9,9
2v9	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v9	$6,2 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$5,2 \cdot 10^{-05}$	4,7
5v9	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	6,1
6v9	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$7,7 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	7,7
7v9	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	5,5
8v9	$3,1 \cdot 10^{-08}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	5,3
9v9	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$8,0 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-06}$	28,0
2v12	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v12	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v12	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	4,8
6v12	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	6,0
7v12	$7,1 \cdot 10^{-07}$	$7,0 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	8,6
8v12	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	7,7
9v12	$8,3 \cdot 10^{-08}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	5,8
10v12	$1,4 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	4,9
11v12	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	11,2
12v12	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$2,2 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	80,8

A 2.18 BATTERIE

A 2.18.1 Komponentenpopulation Batterie

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Batterie wurden Batterien mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: -GF
- Spannung: 220 V und 48 V

A 2.18.2 Ausgewertete Quellen für Batterie

Für die Auswertung der Ereignisse an Batterien wurden die meldepflichtigen Ereignisse für den Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis zum 30.04.1996 ausgewertet. Hierbei wurde für jedes Kernkraftwerk die zu berücksichtigenden Komponentengruppen entsprechend den vorhandenen Einrichtungen anlagenspezifisch ermittelt. Als Bezugszeitraum wurde ein Wert von ca. 680 Komponentengruppenjahren ermittelt.

A 2.18.3 Randbedingungen für Batterie

Für die Bewertung der Ereignisse an Batterien wurde die Ausfallart "Keine Spannung" berücksichtigt. Die beobachteten Ereignisse sind in Tabelle A 2.18-1 aufgeführt.

Tabelle A 2.18-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Keine Spannung	Quelle
00293	x	ME
00669	x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden keine weiteren Randbedingungen unterschieden.

A 2.18.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Batterie

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Keine Spannung" sind in Tabelle A 2.18-2 bis Tabelle A 2.18-5 aufgeführt.

**Tabelle A 2.18-2: Batterie, Ausfallart "Keine Spannung",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$5,8 \cdot 10^{-07}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v3	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$5,3 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	11,1
2v4	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,9 \cdot 10^{-07}$	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	5,6
4v4	$4,6 \cdot 10^{-09}$	$9,9 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	22,1

**Tabelle A 2.18-3: Batterie, Ausfallart "Keine Spannung",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v3	$3,1 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	11,1
2v4	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	5,6
4v4	$9,2 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	22,1

**Tabelle A 2.18-4: Batterie, Ausfallart "Keine Spannung",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
2v3	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	11,1
2v4	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	5,6
4v4	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	22,1

**Tabelle A 2.18-5: Batterie, Ausfallart "Keine Spannung",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$8,6 \cdot 10^{-04}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	4,1
2v3	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$9,0 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	11,1
2v4	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	5,6
4v4	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	22,1

A 2.19 RELAIS

A 2.19.1 Komponentenpopulation Relais

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Relais wurden Relais mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: -KZ

A 2.19.2 Ausgewertete Quellen für Relais

Für die Auswertung der Ereignisse an Relais wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 mit einer Beobachtungszeit von 500 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.19.3 Randbedingungen für Relais

Für die Bewertung der Ereignisse an Relais wurde nur die Ausfallart "Schaltet nicht" berücksichtigt. Die beobachteten Ereignisse sind in Tabelle A 2.19-1 aufgeführt.

Tabelle A 2.19-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Schaltet nicht	Quelle
00079	x	ME
00086	x	ME
00087	x	ME
00572	x	ME
00657	x	ME
00661	x	ME
00662	x	ME
00667	x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.19-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingung für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden ist. Die Randbedingungen mit unterschiedlichen Redundanzgraden werden bei der Berechnung berücksichtigt (Kennzeichnung mit "BRB").

Tabelle A 2.19-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00667	Bewertung für 2-strängiges System (wie beobachtet)	BRB KAR
	Expertenschätzung für erwartetes Schadensbild bei höherredundantem, z.B. 6-strängigem System	

A 2.19.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Relais

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Schaltet nicht" sind in Tabelle A 2.19-3 bis Tabelle A 2.19-6 aufgeführt.

**Tabelle A 2.19-3: Relais, Ausfallart "Schaltet nicht",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,1
3v3	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v4	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v4	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$8,7 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v6	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$9,8 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v6	$6,5 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v9	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v9	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,6
5v9	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v9	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
7v9	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v9	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
9v9	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	8,3
2v12	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v12	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v12	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,9
6v12	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	5,3
7v12	$8,9 \cdot 10^{-07}$	$8,0 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	5,1
8v12	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,7
9v12	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
10v12	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
11v12	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	4,9
12v12	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	11,5

**Tabelle A 2.19-4: Relais, Ausfallart "Schaltet nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v3	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v4	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v4	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,0 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v4	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v6	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$8,0 \cdot 10^{-05}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v6	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v6	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
6v6	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	5,8
2v9	$7,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-05}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	4,2
4v9	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$4,7 \cdot 10^{-05}$	4,6
5v9	$4,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	4,6
6v9	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
7v9	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	4,2
8v9	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$6,5 \cdot 10^{-05}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	4,3
9v9	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-05}$	8,3
2v12	$9,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v12	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$7,1 \cdot 10^{-05}$	$5,9 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v12	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,9
6v12	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	5,3
7v12	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	5,1
8v12	$2,5 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,7
9v12	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$3,8 \cdot 10^{-05}$	4,4
10v12	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,4
11v12	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	4,9
12v12	$9,2 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	11,5

**Tabelle A 2.19-5: Relais, Ausfallart "Schaltet nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	4,1
3v3	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$5,8 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v4	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v4	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v4	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v6	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$5,9 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v6	$3,9 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	5,8
2v9	$2,3 \cdot 10^{-04}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$5,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$2,8 \cdot 10^{-04}$	$2,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v9	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	4,6
5v9	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,6
6v9	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v9	$2,9 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v9	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,3
9v9	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$7,0 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	8,3
2v12	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v12	$5,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	4,4
5v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$6,7 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,9
6v12	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$7,7 \cdot 10^{-05}$	5,3
7v12	$5,4 \cdot 10^{-06}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	5,1
8v12	$7,4 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	4,7
9v12	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,4
10v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$8,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
11v12	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	4,9
12v12	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	11,5

**Tabelle A 2.19-6: Relais, Ausfallart "Schaltet nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$4,9 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	4,1
3v3	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$2,5 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v4	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$8,7 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$1,3 \cdot 10^{-03}$	4,2
3v4	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$7,8 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,0
4v4	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-03}$	$2,3 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
2v6	$7,7 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,8 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v6	$2,5 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	4,2
4v6	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	$8,4 \cdot 10^{-04}$	$8,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v6	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	$9,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
6v6	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$9,6 \cdot 10^{-04}$	5,8
2v9	$1,0 \cdot 10^{-03}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$2,1 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v9	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,1 \cdot 10^{-03}$	4,2
4v9	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$8,0 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-04}$	4,6
5v9	$6,4 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-04}$	$6,4 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	4,6
6v9	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,4
7v9	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	4,2
8v9	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$4,8 \cdot 10^{-04}$	$8,5 \cdot 10^{-04}$	$7,2 \cdot 10^{-04}$	4,3
9v9	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-03}$	$6,9 \cdot 10^{-04}$	8,3
2v12	$1,2 \cdot 10^{-03}$	$1,7 \cdot 10^{-03}$	$2,2 \cdot 10^{-03}$	$2,4 \cdot 10^{-03}$	4,0
3v12	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	4,1
4v12	$2,4 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	$9,2 \cdot 10^{-04}$	$7,6 \cdot 10^{-04}$	4,4
5v12	$9,7 \cdot 10^{-05}$	$2,9 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,9
6v12	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	5,3
7v12	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	5,1
8v12	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-04}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$4,1 \cdot 10^{-04}$	4,7
9v12	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-04}$	$5,9 \cdot 10^{-04}$	$4,9 \cdot 10^{-04}$	4,4
10v12	$9,5 \cdot 10^{-05}$	$3,7 \cdot 10^{-04}$	$6,5 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,4
11v12	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-04}$	$7,9 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-04}$	4,9
12v12	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$1,4 \cdot 10^{-03}$	$5,7 \cdot 10^{-04}$	11,5

A 2.20 GRENZWERTGEBER

A 2.20.1 Komponentenpopulation Grenzwertgeber

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Grenzwertgeber wurden Komponenten mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: -NG
- Funktion: Grenzwertgeber für Druckmessumformer

A 2.20.2 Ausgewertete Quellen für Grenzwertgeber

Für die Auswertung der Ereignisse an Grenzwertgebern von Druckmessumformern wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 31.12.1995 mit einer Beobachtungszeit von 6.000 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.20.3 Randbedingungen für Grenzwertgeber

Für die Bewertung der Ereignisse an Grenzwertgebern wurde nur die Ausfallart "Schaltet nicht" berücksichtigt. Die beobachteten Ereignisse sind in Tabelle A 2.20-1 aufgeführt.

Tabelle A 2.20-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Schaltet nicht	Quelle
00090	x	ME
00091	x	ME
00148	x	ME
00150	x	ME

Bei der Bewertung der Ereignisse wurden weitere Randbedingungen unterschieden, die in Tabelle A 2.20-2 aufgeführt sind. In der letzten Spalte "Verwendung" ist durch das Kürzel "KAR" vermerkt, welche Randbedingungen für die Berechnung von konservativ abdeckenden GVA-Wahrscheinlichkeiten in diesem Bericht berücksichtigt worden sind. Durch ein "KUG" ist vermerkt, für welche Ereignisse zwar unterschiedliche Randbedingungen existieren, diese aber nicht zu unterschiedlichen Bewertungen durch die GRS geführt haben. Durch die Ziffer "0" sind die Randbedingungen gekennzeichnet, bei denen die Bewertung aller Expertenabschätzungen einen Übertragungsfaktor gleich Null ergibt und somit das entsprechende Ereignis unter dieser Randbedingung nicht zu berücksichtigen ist.

Aus den aufgeführten Randbedingungen mit den Bewertungen der Übertragbarkeit gleich Null ergibt sich, dass für Grenzwertgeber an Druckmessungen des Reaktorschutzes, die über Vergleiche überwacht werden, keine Ereignisse im Auswertungsbereich enthalten sind, die für solche Grenzwertgeber übertragbar sind. Deshalb können für vergleichbarerüberwachte Reaktorschutzgrenzwertgeber auch keine GVA-Wahrscheinlichkeiten ausgegeben werden.

Tabelle A 2.20-2: Ereignisse und verwendete Randbedingungen

GVA-Nr	Randbedingung	Verwendung
00090 00091	Übertragbarkeit für Reaktorschutzwertgeber	0
	Übertragbarkeit für betriebliche Anforderungen (ohne Berücksichtigung des technischen Details "Kondensator Typ")	KAR KUG
	Übertragbarkeit für betriebliche Anforderungen (bei Tantal Kondensatoren mit deutlich längerer Lebensdauer)	
00148 00150	Übertragbarkeit für "stille" betriebliche Messstellen ohne Überwachung	KAR
	Übertragbarkeit für nach Sicherheitsspezifikation geprüfte Reaktorschutzmessstellen	
	Übertragbarkeit für ständig überwachte Reaktorschutzmessstellen (z.B. über Vergleicher)	0

A 2.20.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Grenzwertgeber

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für Grenzwertgeber für die Ausfallart "Schaltet nicht" sind in Tabelle A 2.20-3 bis Tabelle A 2.20-6 aufgeführt.

**Tabelle A 2.20-3: Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$4,0 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$9,2 \cdot 10^{-07}$	$5,8 \cdot 10^{-07}$	4,9
2v4	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$6,0 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v4	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,7
4v4	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-07}$	6,2
2v6	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v6	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	4,3
4v6	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$7,7 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	5,1
5v6	$2,8 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$5,4 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	7,1
6v6	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$9,5 \cdot 10^{-09}$	$7,1 \cdot 10^{-08}$	$2,8 \cdot 10^{-08}$	11,3
2v9	$4,3 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v9	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	4,1
4v9	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$3,3 \cdot 10^{-06}$	4,4
5v9	$2,8 \cdot 10^{-07}$	$9,2 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	5,0
6v9	$5,1 \cdot 10^{-08}$	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	6,8
7v9	$6,3 \cdot 10^{-09}$	$5,0 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	10,4
8v9	$4,5 \cdot 10^{-10}$	$5,7 \cdot 10^{-09}$	$6,7 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-08}$	16,8
9v9	$1,5 \cdot 10^{-11}$	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$6,3 \cdot 10^{-09}$	$2,4 \cdot 10^{-09}$	28,3
2v12	$3,6 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v12	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-06}$	4,0
4v12	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	$4,7 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,9 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v12	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$9,7 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$6,4 \cdot 10^{-08}$	$3,6 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-07}$	6,5
8v12	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	9,7
9v12	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$2,0 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-08}$	15,9
10v12	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$2,9 \cdot 10^{-09}$	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-08}$	25,8
11v12	$6,8 \cdot 10^{-12}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	$9,0 \cdot 10^{-09}$	$3,8 \cdot 10^{-09}$	45,2
12v12	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$	$6,7 \cdot 10^{-10}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	79,2

**Tabelle A 2.20-4: Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen,
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$5,7 \cdot 10^{-06}$	$9,2 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-06}$	4,0
3v3	$2,7 \cdot 10^{-07}$	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$8,3 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$8,5 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,7
4v4	$5,6 \cdot 10^{-08}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$7,4 \cdot 10^{-07}$	$3,9 \cdot 10^{-07}$	6,2
2v6	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	4,3
4v6	$5,1 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-06}$	5,1
5v6	$5,5 \cdot 10^{-08}$	$2,6 \cdot 10^{-07}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	7,1
6v6	$2,6 \cdot 10^{-09}$	$1,9 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-07}$	$5,6 \cdot 10^{-08}$	11,3
2v9	$8,5 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$5,3 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	4,4
5v9	$5,6 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$4,4 \cdot 10^{-06}$	$3,0 \cdot 10^{-06}$	5,0
6v9	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-06}$	6,8
7v9	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$6,8 \cdot 10^{-07}$	$2,8 \cdot 10^{-07}$	10,4
8v9	$9,0 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-08}$	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$5,0 \cdot 10^{-08}$	16,8
9v9	$3,0 \cdot 10^{-11}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-08}$	$4,7 \cdot 10^{-09}$	28,3
2v12	$7,1 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$9,1 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$3,8 \cdot 10^{-06}$	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	$9,3 \cdot 10^{-06}$	4,1
5v12	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$3,9 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	4,4
6v12	$5,2 \cdot 10^{-07}$	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$4,5 \cdot 10^{-06}$	$3,1 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$1,3 \cdot 10^{-07}$	$7,3 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	6,5
8v12	$2,3 \cdot 10^{-08}$	$2,0 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	$5,2 \cdot 10^{-07}$	9,7
9v12	$3,0 \cdot 10^{-09}$	$4,1 \cdot 10^{-08}$	$4,5 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-07}$	15,9
10v12	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$5,8 \cdot 10^{-09}$	$1,1 \cdot 10^{-07}$	$4,1 \cdot 10^{-08}$	25,8
11v12	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$7,5 \cdot 10^{-09}$	45,2
12v12	$3,3 \cdot 10^{-13}$	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-09}$	$7,1 \cdot 10^{-10}$	79,2

Tabelle A 2.20-5: Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$8,0 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-06}$	4,9
2v4	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	4,7
4v4	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-06}$	6,2
2v6	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$4,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v6	$7,9 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	4,3
4v6	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$4,6 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$7,6 \cdot 10^{-06}$	5,1
5v6	$1,7 \cdot 10^{-07}$	$7,9 \cdot 10^{-07}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	7,1
6v6	$7,8 \cdot 10^{-09}$	$5,7 \cdot 10^{-08}$	$4,2 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-07}$	11,3
2v9	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$4,4 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v9	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v9	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v9	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$5,5 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-06}$	5,0
6v9	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$6,1 \cdot 10^{-06}$	$3,2 \cdot 10^{-06}$	6,8
7v9	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$8,4 \cdot 10^{-07}$	10,4
8v9	$2,7 \cdot 10^{-09}$	$3,4 \cdot 10^{-08}$	$4,0 \cdot 10^{-07}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	16,8
9v9	$8,9 \cdot 10^{-11}$	$1,8 \cdot 10^{-09}$	$3,8 \cdot 10^{-08}$	$1,4 \cdot 10^{-08}$	28,3
2v12	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v12	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v12	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,9 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,1
5v12	$5,1 \cdot 10^{-06}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v12	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	4,9
7v12	$3,8 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	$7,8 \cdot 10^{-06}$	$4,2 \cdot 10^{-06}$	6,5
8v12	$7,0 \cdot 10^{-08}$	$6,1 \cdot 10^{-07}$	$3,7 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-06}$	9,7
9v12	$8,9 \cdot 10^{-09}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$5,0 \cdot 10^{-07}$	15,9
10v12	$8,0 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-08}$	$3,3 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-07}$	25,8
11v12	$4,1 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-09}$	$5,4 \cdot 10^{-08}$	$2,3 \cdot 10^{-08}$	45,2
12v12	$9,9 \cdot 10^{-13}$	$6,3 \cdot 10^{-11}$	$4,0 \cdot 10^{-09}$	$2,1 \cdot 10^{-09}$	79,2

Tabelle A 2.20-6: Grenzwertgeber, Ausfallart "Schaltet nicht", konservativ abdeckende Randbedingungen, Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v3	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$7,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,5 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,9
2v4	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,7
4v4	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$9,6 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-06}$	6,2
2v6	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v6	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$9,8 \cdot 10^{-05}$	4,3
4v6	$6,6 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$3,3 \cdot 10^{-05}$	5,1
5v6	$7,2 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	7,1
6v6	$3,4 \cdot 10^{-08}$	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$7,3 \cdot 10^{-07}$	11,3
2v9	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,9 \cdot 10^{-04}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v9	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v9	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-05}$	$8,6 \cdot 10^{-05}$	4,4
5v9	$7,3 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	5,0
6v9	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	6,8
7v9	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$8,8 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	10,4
8v9	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,8 \cdot 10^{-06}$	$6,5 \cdot 10^{-07}$	16,8
9v9	$3,9 \cdot 10^{-10}$	$7,8 \cdot 10^{-09}$	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$6,2 \cdot 10^{-08}$	28,3
2v12	$9,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$2,0 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v12	$7,9 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v12	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,1
5v12	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$5,0 \cdot 10^{-05}$	$8,8 \cdot 10^{-05}$	$7,5 \cdot 10^{-05}$	4,4
6v12	$6,8 \cdot 10^{-06}$	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$5,8 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,9
7v12	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$9,4 \cdot 10^{-06}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	6,5
8v12	$3,0 \cdot 10^{-07}$	$2,6 \cdot 10^{-06}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	$6,8 \cdot 10^{-06}$	9,7
9v12	$3,9 \cdot 10^{-08}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-06}$	15,9
10v12	$3,5 \cdot 10^{-09}$	$7,6 \cdot 10^{-08}$	$1,5 \cdot 10^{-06}$	$5,3 \cdot 10^{-07}$	25,8
11v12	$1,8 \cdot 10^{-10}$	$6,7 \cdot 10^{-09}$	$2,3 \cdot 10^{-07}$	$9,8 \cdot 10^{-08}$	45,2
12v12	$4,3 \cdot 10^{-12}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$1,7 \cdot 10^{-08}$	$9,3 \cdot 10^{-09}$	79,2

A 2.21 LEISTUNGSSCHALTER

A 2.21.1 Komponentenpopulation Leistungsschalter

Für die Auswertung der Komponentenpopulation Leistungsschalter wurden Schalter mit folgenden Eigenschaften berücksichtigt:

- Betriebsmittelart: -QA

A 2.21.2 Ausgewertete Quellen für Leistungsschalter

Für die Auswertung der Ereignisse an Leistungsschaltern wurden die meldepflichtigen Ereignisse aus dem Zeitraum ab Aufnahme Betrieb der jeweiligen Anlage bis 15.06.1985 mit einer Beobachtungszeit von 700 Komponentengruppenjahren berücksichtigt.

A 2.21.3 Randbedingungen für Leistungsschalter

Für die Bewertung der Ereignisse an Leistungsschaltern wurde die Ausfallart "Schließt nicht" berücksichtigt. Das beobachtete Ereignis ist in Tabelle A 2.21-1 aufgeführt.

Tabelle A 2.21-1: Ereignisse und betrachtete Ausfallarten

GVA-NR	Schließt nicht	Quelle
00089	x	ME

Bei der Bewertung des Ereignisses wurden keine weiteren Randbedingungen unterschieden.

A 2.21.4 GVA-Wahrscheinlichkeiten für Leistungsschalter

Die berechneten Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Ausfallart "Schließt nicht" sind in Tabelle A 2.21-2 bis Tabelle A 2.21-5 aufgeführt.

**Tabelle A 2.21-2: Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 336 Stunden (monatlich versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$2,4 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$5,0 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	7,0
2v4	$6,4 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$2,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$1,6 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$9,1 \cdot 10^{-06}$	9,9
2v6	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$9,6 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$1,0 \cdot 10^{-07}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	7,1
6v6	$4,6 \cdot 10^{-09}$	$8,6 \cdot 10^{-07}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-06}$	21,7
2v8	$7,7 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	5,5
3v8	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$1,4 \cdot 10^{-06}$	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$5,7 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$1,5 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$8,0 \cdot 10^{-08}$	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$6,0 \cdot 10^{-09}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$6,6 \cdot 10^{-06}$	14,8
8v8	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$8,4 \cdot 10^{-06}$	$3,6 \cdot 10^{-06}$	50,1

**Tabelle A 2.21-3: Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 672 Stunden (monatlich nicht versetzt)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$4,8 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$6,9 \cdot 10^{-05}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	4,0
2v3	$1,1 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	$4,9 \cdot 10^{-05}$	$5,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v3	$1,0 \cdot 10^{-06}$	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$5,4 \cdot 10^{-05}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	7,0
2v4	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	4,0
3v4	$3,2 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-05}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	4,4
4v4	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$6,9 \cdot 10^{-06}$	$4,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-05}$	9,9
2v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
3v6	$5,9 \cdot 10^{-06}$	$2,8 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$4,0 \cdot 10^{-05}$	4,0
4v6	$1,9 \cdot 10^{-06}$	$2,4 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	4,2
5v6	$2,1 \cdot 10^{-07}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$4,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	7,1
6v6	$9,1 \cdot 10^{-09}$	$1,7 \cdot 10^{-06}$	$2,7 \cdot 10^{-05}$	$9,9 \cdot 10^{-06}$	21,7
2v8	$1,5 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	5,5
3v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$2,9 \cdot 10^{-06}$	$2,3 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	$3,2 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$1,1 \cdot 10^{-06}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$1,2 \cdot 10^{-05}$	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$2,0 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$1,2 \cdot 10^{-08}$	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$3,5 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-05}$	14,8
8v8	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$4,3 \cdot 10^{-07}$	$1,7 \cdot 10^{-05}$	$7,3 \cdot 10^{-06}$	50,1

**Tabelle A 2.21-4: Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 2016 Stunden (3 Monate)**

AFK	5%-Fraktil	50%-Fraktil	95%-Fraktil	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streufaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$1,4 \cdot 10^{-05}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$2,1 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$3,4 \cdot 10^{-05}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$3,0 \cdot 10^{-06}$	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$1,6 \cdot 10^{-04}$	$8,3 \cdot 10^{-05}$	7,0
2v4	$3,8 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$9,5 \cdot 10^{-06}$	$8,2 \cdot 10^{-05}$	$1,4 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$6,3 \cdot 10^{-07}$	$2,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$5,5 \cdot 10^{-05}$	9,9
2v6	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$1,8 \cdot 10^{-05}$	$8,4 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$1,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$5,8 \cdot 10^{-06}$	$7,2 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$6,2 \cdot 10^{-07}$	$3,1 \cdot 10^{-05}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-05}$	7,1
6v6	$2,7 \cdot 10^{-08}$	$5,2 \cdot 10^{-06}$	$8,1 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-05}$	21,7
2v8	$4,6 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	5,5
3v8	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
4v8	$8,6 \cdot 10^{-06}$	$6,8 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	$9,7 \cdot 10^{-05}$	4,0
5v8	$3,4 \cdot 10^{-06}$	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$9,3 \cdot 10^{-05}$	$9,0 \cdot 10^{-05}$	4,1
6v8	$4,8 \cdot 10^{-07}$	$3,6 \cdot 10^{-05}$	$1,0 \cdot 10^{-04}$	$6,1 \cdot 10^{-05}$	5,5
7v8	$3,6 \cdot 10^{-08}$	$1,0 \cdot 10^{-05}$	$1,1 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-05}$	14,8
8v8	$1,2 \cdot 10^{-09}$	$1,3 \cdot 10^{-06}$	$5,1 \cdot 10^{-05}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	50,1

**Tabelle A 2.21-5: Leistungsschalter, Ausfallart "Schließt nicht",
Testintervall = 8736 Stunden (1 Jahr)**

AFK	5%-Fraktile	50%-Fraktile	95%-Fraktile	Erwartungswert (verbreiterte Verteilung)	Streudefaktor (verbreiterte Verteilung)
2v2	$6,2 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$8,9 \cdot 10^{-04}$	$5,1 \cdot 10^{-04}$	4,0
2v3	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	$6,3 \cdot 10^{-04}$	$7,4 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v3	$1,3 \cdot 10^{-05}$	$1,8 \cdot 10^{-04}$	$7,1 \cdot 10^{-04}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	7,0
2v4	$1,7 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$6,6 \cdot 10^{-04}$	4,0
3v4	$4,1 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$6,0 \cdot 10^{-04}$	$5,3 \cdot 10^{-04}$	4,4
4v4	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$8,9 \cdot 10^{-05}$	$5,6 \cdot 10^{-04}$	$2,4 \cdot 10^{-04}$	9,9
2v6	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,2
3v6	$7,7 \cdot 10^{-05}$	$3,6 \cdot 10^{-04}$	$4,5 \cdot 10^{-04}$	$5,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
4v6	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$3,1 \cdot 10^{-04}$	$4,7 \cdot 10^{-04}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	4,2
5v6	$2,7 \cdot 10^{-06}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	$5,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	7,1
6v6	$1,2 \cdot 10^{-07}$	$2,2 \cdot 10^{-05}$	$3,5 \cdot 10^{-04}$	$1,3 \cdot 10^{-04}$	21,7
2v8	$2,0 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	5,5
3v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
4v8	$3,7 \cdot 10^{-05}$	$3,0 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	$4,2 \cdot 10^{-04}$	4,0
5v8	$1,5 \cdot 10^{-05}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	$4,0 \cdot 10^{-04}$	$3,9 \cdot 10^{-04}$	4,1
6v8	$2,1 \cdot 10^{-06}$	$1,5 \cdot 10^{-04}$	$4,4 \cdot 10^{-04}$	$2,7 \cdot 10^{-04}$	5,5
7v8	$1,6 \cdot 10^{-07}$	$4,5 \cdot 10^{-05}$	$4,6 \cdot 10^{-04}$	$1,7 \cdot 10^{-04}$	14,8
8v8	$5,2 \cdot 10^{-09}$	$5,6 \cdot 10^{-06}$	$2,2 \cdot 10^{-04}$	$9,5 \cdot 10^{-05}$	50,1

A 3 LITERATUR

- /GRS 93/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit:
SWR Sicherheitsanalyse, Abschlußbericht,
GRS 102/1, Köln, Juni 1993,
ISBN 3-923875-52-5
- /MET 97/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Daten zur Quantifizierung von Ereignisablaufdiagrammen und Fehlerbäumen
- April 1997 -
BfS-KT-18/97, Salzgitter
- /MET 05/ Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke:
Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke,
BfS-SCHR-37/05

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-1/90

Warnecke, E.; Odoj, R.; Simon, R. (Editors)

Requirements for Waste Acceptance and Quality Control.

Proceedings of the 2nd International Seminar on Radioactive Waste Products.

28 May - 1 June 1990, Research Centre Jülich, Federal Republic of Germany.

Salzgitter 1990

BfS-SCHR-2/91

Sicherheitsreihe Nr. 6.

IAEO-Empfehlungen für die sichere Beförderung radioaktiver Stoffe. Ausgabe 1985.

(Diese Übersetzung enthält auch die von der IAEO im Nachtrag 1988 zu den Empfehlungen vorgenommenen Ergänzungen).

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-3/91

Schüttmann, W.; Aurand, K.

Die Geschichte der Außenstelle Oberschlema des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik Frankfurt am Main.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-4/91

Bornemann, O. (mit einem Beitrag von R. Fischbeck)

Zur Geologie des Salzstocks Gorleben nach den Bohrergebnissen.

Salzgitter 1991

BfS-SCHR-5/92

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungszuflüsse in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung.

Eine Dokumentation.

Zweiter Bericht. Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1991. Clausthal-

Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-6/92

Bestandsaufnahme IMIS-IT.

Seminar zum Projektstand IMIS am 3. Mai 1991.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-7/92

Empfehlungen der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) 1987 - 1991 (Band 7).

Zusammengestellt von der RSK-Geschäftsstelle.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-8/92

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum ersten Teilprojekt.

Salzgitter 1992

BfS-SCHR-9/93

Grosche, B.; Burkart, W. (Editors)

Radiation epidemiology after the Chernobyl accident.

Proceedings of a workshop held at the Institute for Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation

Protection, Neuherberg, October 23-25, 1991

BfS-SCHR-10/93

von Borstel, L.E.

Lösungen in marinen Evaporiten.

Salzgitter 1993

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-11/93

Herrmann, A.G.

Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM).

Lösungsvorkommen in den Grubenfeldern Marie und Bartensleben: Stoffbestand, Herkunft, Entstehung. Eine Dokumentation.

Abschlußbericht für den Zeitabschnitt 1. Januar bis 31. Dezember 1992. Clausthal-Zellerfeld, den 29. Februar 1992.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-12/93

IMIS-Statusgespräch.

Seminar zum Projektstand IMIS am 1. Februar 1993.

Salzgitter 1993

BfS-SCHR-13/94

Przyborowski, S.; Röhnsch, W.

ICRP-Publikation 65

über den Schutz gegenüber Radon-222 in Wohnung und an Arbeitsplätzen und die Situation in der Bundesrepublik Deutschland.

Salzgitter, 1994

BfS-SCHR-14/95

Kammerer, L.; Peter, J.; Burkhardt, J.; Trugenberger-Schnabel, A.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1992 und 1993. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Dezember 1995

BfS-SCHR-15/96

Solare terrestrische UV-Strahlung in Deutschland.

Meßergebnisse und strahlenhygienische Bewertung der Daten aus dem UV-Meßnetz des BfS/UBA für den Zeitraum Januar bis Dezember 1994.

Salzgitter, März 1996

BfS-SCHR-16/98

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1994 bis 1995. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-17/98

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlußbericht zum zweiten Teilprojekt.

Salzgitter, März 1998

BfS-SCHR-18/98

Sonnek, C.

Die Euratom-Grundnormen für den Strahlenschutz 1996 und 1997.

Ausblick auf zukünftiges Strahlenschutzrecht in Deutschland.

Salzgitter, Juli 1998

BfS-SCHR-19/99

Strahlenschutz und Sicherheit in der Medizin.

ICRP-Veröffentlichung 73.

Ein Bericht einer Arbeitsgruppe des Komitees 3 der Internationalen Strahlenschutzkommission.

Von der Kommission angenommen im März 1996.

Salzgitter, Mai 1999

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-20/99

WORKSHOP

Strahlenüberwachung von Arbeitsplätzen mit erhöhten Konzentrationen von Radon und Radonzerfallsprodukten und Qualitätssicherung der Überwachungsmessungen.

22. bis 24. Juni 1998, Berlin.

Salzgitter, November 1999

BfS-SCHR-21/00

Kammerer, L.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1996 und 1997. Daten und Bewertung.

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Salzgitter, Oktober 2000

BfS-SCHR-22/01

Ettenhuber, E.; Gehrcke, K.

Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten.

Abschlussbericht.

Salzgitter, März 2001

BfS-SCHR-23/01 (ist nicht als Druck erschienen, nur im Internet)

Steinmetz, M.

UV-Index in practical use

Proceedings of an International Workshop

Institute of radiation hygiene, Munich, Germany, December 4-7, 2000

Salzgitter, 2001

BfS-SCHR-24/02

Peter J.; Schneider G.; Bayer A.; Trugenberger-Schnabel A.

High Levels of Natural Radiation and Radon Areas:

Radiation Dose and Health Effects

Proceedings of the 5th International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas held in Munich, Germany on September 4 to 7 2000

Neuherberg, März 2002

BfS-SCHR-25/02

Brix, J.; Matthes, R.; Schulz, O.; Weiss, W.

Forschungsprojekte zur Wirkung elektromagnetischer Felder des Mobilfunks.

Bundesamt für Strahlenschutz

21. und 22. Juni 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-26/02

Bruchertseifer, F.; Pohl, H.

Fachgespräch

Begrenzung der Strahlenexposition als Folge von Störfällen bei kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen.

1. und 2. März 2001

Salzgitter, Juni 2002

BfS-SCHR-27/03

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter J.;

Kanzlivius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland 1998 bis 2001

Daten und Bewertung

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz

Salzgitter, Januar 2003

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-28/03

Walter, H.

2.Fachgespräch SODAR

19. u. 20. März 2003

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,

Naturschutz und Reaktorsicherheit

Zusammenfassung der Vorträge

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-29/03

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2001 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsgemäß begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SCHR-30/04

Lennartz, H.-A.; Mussel, Ch.; Thieme, M.

Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle

Abschlussbericht

Salzgitter, April 2004

BfS-SCHR-31/04

Weiß, D.; Bönigke, G.; Spoden, E.; Warnecke, E.

Übersicht zu stillgelegten kerntechnischen Anlagen in Deutschland und in Europa – Januar 2004

Salzgitter, September 2004

BfS-SCHR-32/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; A. Löbke-Reinl; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2003 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt,

Naturschutz und Reaktorsicherheit

Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-33/05

Hartmann, M.; Beyer, D.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.

Ergebnisse der In-vitro-Ringversuche: S-35 in Urin sowie Am-241 und Pu-Isotope in Urin

Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2001 und 2002 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS

am 1. Juli 2003 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Kulmbach

Salzgitter, Januar 2005

BfS-SCHR-34/05

Trugenberger-Schnabel, A.; Peter, J.; Kanzliwius, R.; Bernhard, C.; Bergler, I.

Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland

Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz

Daten und Bewertung für 2002 und 2003

Salzgitter, Juni 2005

BfS-SCHR-35/05

Bergler, I.; Bernhard C.; Gödde R.; Löbke-Reinl A.; Schmitt-Hannig A.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 2004

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und administrativ begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und

Reaktorsicherheit

Salzgitter, August 2005

Bisher erschienene BfS-Schriften

BfS-SCHR-36/05

Steinmetz, M.

200 Jahre solare UV-Strahlung

Geschichte und Perspektiven

Wissenschaftliches Kolloquium

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-37/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

BfS-SCHR-38/05

Facharbeitskreis Probabilistische Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke

Stand: August 2005

Salzgitter, Oktober 2005

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 100149

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0) 1888 - 3 33 - 0

Telefax: + 49 (0) 1888 - 3 33 - 18 85

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz