



INDUSTRIELLE WERKE BASEL

ELEKTRIZITÄT, FERNWÄRME, GAS, WASSER

EINGEGANGEN

29. Okt. 1990

Cr.....

Kantonales Laboratorium
Basel-Stadt
Kontrollstelle für Chemie-
sicherheit
Burgfelderstrasse 25

4012 Basel

Abteilung/Ref. F/He/gv
Sachbearbeiter Hr. Herzog
Direktwahl Tel. 20 55 01
Ihr Schreiben

Basel, 26. Oktober 1990

Risiko-Untersuchung für das Heizwerk Bahnhof

Sehr geehrte Herren

Mit unserem Schreiben vom 16. Oktober 1989 haben wir Ihnen einen Bericht über die Risiken des Heizwerks Bahnhof zugestellt. Aufgrund diverser Besprechungen wurde dieser Bericht vom beauftragten Ingenieurbüro nach Ihren Wünschen ergänzt und überarbeitet. In der Beilage erhalten Sie 2 Exemplare dieser mit Oktober 1990 datierten Fassung.

Mit freundlichen Grüßen
INDUSTRIELLE WERKE BASEL

Beilage erwähnt

Kopie an:

Suisselectra

INDUSTRIELLE WERKE BASEL

HEIZWERK BAHNHOF

RISIKO-UNTERSUCHUNG

FÜR DAS HEIZWERK BAHNHOF

OKTOBER 1990

INDUSTRIELLE WERKE BASEL

HEIZWERK BAHNHOF

RISIKO-UNTERSUCHUNG

FÜR DAS HEIZWERK BAHNHOF

Verfasst von:

Dr. A. Escher

**SUISELECTRA
INGENIEURUNTERNEHMUNG AG
BASEL**

GESAMTPLANUNG UND UMWELT

© SUISELECTRA

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 ANLAGEBESCHREIBUNG	1
1.1 Zweck und Aufgabe der Anlage	1
1.2 Verfahrens- und Anlagebeschreibung	2
1.2.1 Geplanter Ausbau des Heizwerkes	2
1.2.2 Angewandte Verfahren	2
1.3 Standort	3
1.4 Materialflüsse und gelagerte Stoffe	3
1.4.1 Materialflüsse	3
1.4.2 Gelagerte Brennstoffe	4
1.5 Energieflüsse und gelagerte Energiemengen	4
1.5.1 Energieflüsse	4
1.5.2 Gelagerte Energiemengen	4
2 DARSTELLUNG DER RISIKEN	5
2.1 Darstellung der Stoffe, die ein Risiko beinhalten	5
2.1.1 Erdgas	5
2.1.2 Heizöl EL	6
2.1.3 Propangas	6
2.2 Risiken der Anlageinstallationen	7
2.2.1 Risiken der Heisswasserkessel	7
2.2.1.1 Beobachtete Schadenfälle an Heisswasserkesseln	7
2.2.1.2 Schadenhäufigkeit	8
2.2.2 Risiken verbunden mit der Gasversorgung	8
2.2.2.1 Brenner	8
2.2.2.2 Sicherheit der Rohrleitungen	9
2.2.2.3 Bekannte Unfälle mit Erdgas	10
2.3 Betriebsabläufe, die ein Risiko beinhalten	11
3 RISIKO-MINDERNDE MASSNAHMEN (BAUAUSFÜHRUNG UND NORMEN) ..	12
3.1 Bestehende Bau- und Betriebsvorschriften	12
3.2 Bestehende Normen und Abnahmevorschriften für Heisswasserkessel	12
3.3 Bestehende Normen für Sicherheit von Gasleitungen	12
3.4 Zusätzliche Gas-Detektoren im Bereich von geflanschten Gasleitungen	13
3.5 Bestehende Normen für die Sicherheit von Tankanlagen	13
3.6 Zusätzliche Massnahmen zur Identifizierung von Heizölverlusten	13
4 RISIKOMINDERNDE MASSNAHMEN UND VORSCHRIFTEN BEI BETRIEBSAB- LÄUFEN	14
4.1 Betriebsvorschriften für Pikettdienst	14
4.2 Sicherheits- und Alarmdispositive beim Fernsteuerungsbetrieb	15
4.3 Sicherheitsvorschriften beim Zünden der Brenner	15
4.4 Sicherheitsmassnahmen und Vorschriften beim Brennstoffwechsel	15
4.5 Risiko-Mindernde Massnahmen während Ausbauphase	15
5 RISIKO-MINDERNDE MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR KATASTROPHEN BEI HAVARIE	16
5.1 Vorsorgliche Massnahmen zur Ausmass-Minderung	16
5.1.1 Schutz vor CO- und Gasverpuffung im Brennraum	16
5.1.2 Sicherheitseinrichtungen am Kessel	16
5.1.3 Schutz vor Erdgasaustritten und Gasexplosionen	17
5.1.4 Pneumatisches Hauptgasventil	18
5.1.5 Massnahmen zur Verhinderung von Boden- und Gewässerverunreinigung bei Ölumschlag	18

5.1.6	Gas-Sensoren (System)	18
5.1.6.1	Funktionsweise	18
5.1.6.2	Filament-Sensoren	18
5.1.6.3	Neue Kompaktsensoren	19
5.1.6.4	Sicherheit des Systems	19
6	ERMITTLUNG DER RISIKEN (VORGEHEN)	20
6.1	Ausfall-Analyse	20
6.2	Fehlerbaum	20
7	STÖRFALLSZENARIEN ERMITTELT MIT AUSFALLANALYSE UND ENERGIE-FREISETZUNG	21
7.1	Hypothetischer Gross-Störfall	21
7.2	Erdgasaustritt in Messstation	23
7.2.1	Ausfall eines Detektors und Hauptgasventil	23
7.2.2	Ausfall eines Gasetektors	24
7.3	Störfall während Unterhaltsarbeiten in der Messstation	24
7.4	Störfall mit Propangasflaschen im Kesselhaus	25
7.5	Brand von Heizöl EL	26
7.5.1	Brand des Heizöls im Ölabscheider	26
7.5.2	Brand im Heizöl-Tanklager	27
8	STÖRFALL-BEWERTUNG MIT FEHLERBAUM-ANALYSE	28
8.1	Gasaustritt während Unterhaltsarbeiten	28
8.2	Gasaustritt während des Normalbetriebes	28
8.2.1	Entstehen eines Gasaustrittes bei Normalbetrieb	29
8.2.2	Entstehen eines Gasaustrittes bei Normalbetrieb infolge von fehlerhaften Montagearbeiten	29
8.3	Ausfall des Gassensorensystemes	29
8.3.1	Ausfall der Sensoren	29
8.4	Störfallbetrachtung mit Fehlerbaum	31
8.4.1	Gasaustritt für GAU ohne Ausfall der Gassensoren	31
8.4.2	Gasaustritt für GAU und gleichzeitiger Ausfall der Sensoren	32
8.5	Schlussfolgerung aus Fehlerbaumanalyse	33
9	ABSCHÄTZUNG DER EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT	34
9.1	Wahrscheinlichkeit, dass Schutzmassnahmen technisch bedingt versagen	34
9.1.1	Heisswasserkessel und Brenneranlagen	34
9.1.2	Gasleitungssystem	34
9.1.3	Gasetektoren	34
9.1.4	Sicherheit der Propangasflaschen	35
9.1.5	Technisches Risiko der Gesamtanlage	35
9.2	Brand von Heizöl EL	35
9.3	Bekannte Störfälle in den Heizwerken der IWB	35
10	DARSTELLUNG DER MASSGEBENDEN RISIKEN	36
11	ZUSAMMENFASSUNG	37
ANHANG I	38
I.A	Quellen und Bemerkungen	38
ANHANG II	40
II.A	Länge der Druckleitungen im Heizwerk Bahnhof	40
II.B	Gewicht der Kellerdecke	41

	Seite
ANHANG III	42
III.A Berechnung der Druckwellen bei Erdgasexplosionen und deren Auswirkungen	42
III.A.1 Druckanstieg bei Explosionen	42
III.A.2 Abschätzung der Zerstörung und Entscheidungskriterien	42
III.A.3 Berechnungsgrundlagen	43
III.A.4 Konstante Parameter	43
III.B Maximal zulässige Gasexplosion im Keller	43
III.C Hypothetischer Gross-Störfall	44
III.D Berechnungen der Auswirkungen von Gasexplosionen bei möglichen Störfällen	44
III.E Störfall mit Propangas	46
ANHANG IV	47
IV.A Die Fehlerbaumanalyse	47
IV.A.1 Prinzip der Fehlerbaumanalyse	47
IV.A.2 Symbole der Fehlerbäume	47
ANHANG V	50
V.A Kopie der Weisung Fernwärme Betrieb über die Durchführung der Betriebskontrollen und Unterhaltsarbeiten	50
ANHANG VI	54
VI.A Kopie der SVDB-Bewilligung für den Betrieb der Heisswasserkessel ohne ständige Aufsicht (Fernsteuerung)	54

1 ANLAGEBESCHREIBUNG

1.1 ZWECK UND AUFGABE DER ANLAGE

Die erste Ausbaustufe des Heizwerkes Bahnhof, das baulich für eine Leistung von 290 MW ausgelegt worden war, wurde im Frühjahr 1982 in Betrieb genommen. Für den Bau des Heizwerkes waren hauptsächlich zwei Gründe massgebend:

- Um eine akzeptable Versorgungssicherheit zu gewährleisten, war es unumgänglich, die Wärme an mehreren - räumlich voneinander entfernten Punkten - zu erzeugen und in das ausgedehnte Verteilnetz einzuspeisen.
- Vor dem Bau des Heizwerkes Bahnhof waren keine Reserven mehr vorhanden. Ein Ausbau der Heizwerke war notwendig, um den Spitzenbedarf zu decken und neue Anschlussbegehren zu befriedigen.

Die erste Ausbaustufe mit 2 Kesseln (je 58 MW) produzierte die Energie für den zusätzlichen Wärmebedarf. Im April 1988 stimmte der Grosse Rat einem neuen Gesetz über *die Versorgung des Kantons Basel-Stadt mit Energie und Trinkwasser durch die Industriellen Werke Basel* zu [1], welches die Grundlagen für die leistungsgebundenen Energien Elektrizität, Fernwärme und Gas vereinheitlichte. Von 1980-1987 sind pro Jahr 600-1000 neue Wohnungen in das Netz aufgenommen worden, wobei 1987 mit 1500 Neuanschlüssen ein Rekordjahr war. Es wird erwartet, dass wegen des neuen Gesetzes ab 1988 rund 1800 neue Wohnungen pro Jahr an das Fernwärmeverteilstnetz angeschlossen werden und die heutige Kapazitätsreserve 1991 erschöpft sein wird.

Die Fernwärmeversorgung der Stadt Basel wird von vier Heizwerken versorgt, die für folgende Leistungen ausgelegt sind (Stand 1988):

- | | |
|----------------------------------|--|
| - Fernheizkraftwerk Voltastrasse | (215 Mega-Watt; Heizöl, Erdgas, Kohle) |
| - Kehrichtverbrennung | (40 Mega-Watt; Abfallverbrennung) |
| - Heizwerk Dolderweg | (58 Mega-Watt; Erdgas, Heizöl) |
| - Heizwerk Bahnhof | (116 Mega-Watt; Erdgas, Heizöl) |

Das Fernheizkraftwerk Voltastrasse und die Kehrichtverbrennung werden mehrheitlich für die Produktion der Bandenergie benutzt. Dies bedeutet, dass diese Anlagen trotz kurzfristiger Bedarfsschwankungen mit gleichbleibender Leistung Heizwärme produzieren können. Deshalb sind das Fernheizkraftwerk Voltastrasse und die Kehrichtverbrennungsanlage mit einer Wärme-Kraft-Kopplung [2] versehen. Die beiden Heizwerke Bahnhof und Dolderweg sind zur Deckung der Spitzenenergie ausgelegt. Ihre Wärmeproduktion muss deshalb kurzfristig auf den Bedarf angeglichen werden können. Wegen der häufigen und kurzfristigen Veränderungen der Wärmeproduktion ist eine Wärmekraftkopplung bei diesen Heizwerken nicht sinnvoll.

Der Ausbau des Heizwerkes Bahnhof hat demnach folgende Ziele:

- Bereitstellung der Kapazität während des Ersatzes der umwelt- und kostentechnisch untragbaren Kohlekessel (50 MW) durch moderne Kessel.
- Abdeckung des zusätzlichen Energiebedarfs.
- Bereitstellen von Reserveleistung im Heizwerk Bahnhof.

1.2 VERFAHRENS- UND ANLAGEBESCHREIBUNG

1.2.1 Geplanter Ausbau des Heizwerkes

Das Heizwerk Bahnhof ist mit einer totalen Leistung von 290 Megawatt geplant worden, wobei man das Projekt in zwei Ausbautappen unterteilt hat. In der ersten Ausbaustufe wurde das Heizwerk mit zwei Heisswasser-Kesseln von je 58 Megawatt ausgerüstet. Der Vollausbau auf 290 Megawatt steht nun bevor. Damit wird das Heizwerk über fünf Heisswasser-Kessel verfügen, deren vier für den Betrieb bestimmt sind und einer als Reserve. Baulich ist das Heizwerk Bahnhof bereits für den Betrieb im Vollausbau erstellt: Das Tanklager für 2 x 2 Mio. Liter Heizöl (Stahl-Zellentank) ist in einem seitlich der Anlage gelegenen, betonierten Keller-raum installiert, dessen Boden als Auffangwanne ausgeführt ist. Die Erdgasversorgung erfolgt direkt vom öffentlichen Gasnetz durch eine Gasleitung (\varnothing 320 mm). Das Kesselhaus ist für total fünf Kessel ausgelegt. Damit werden sich die projektierten Bauarbeiten auf Anpassungen im Innern des Gebäudes beschränken.

Die Wärmeverteilung der Fernheizung wird mit einem Leitungsdruck von 16 bis 20 bar betrieben, wobei die Vorlauftemperatur 170° C und die Rücklauftemperatur 70° C betragen. Die Rücklauftemperatur der Kessel selbst wird auf 120° C gehalten.

1.2.2 Angewandte Verfahren

Die gegenwärtig verwendeten Brenneranlagen entsprechen jedoch nicht dem neuesten Stand der Technik: Sie sind noch nicht so ausgerüstet, dass die Schadstoffemissionen weitgehend verhindert werden. Es ist deshalb vorgesehen, diese Brenner durch neue Low-NO_x-Brenner und Rauchgasrezirkulation zur Emissionsverringerung zu ersetzen. Alle zusätzlichen Kessel werden zur Reduktion der Stickoxidbildung ebenfalls mit Low-NO_x-Brennern ausgerüstet.

- Umbau und Nachrüstung der bestehenden zwei Heisswasser-Kessel/Brenneranlagen auf Rauchgasrezirkulation und O₂-Regulierung.
- Installation von drei zusätzlichen Heisswasser-Kesseln/Brenneranlagen mit Rauchgasrezirkulation und O₂-Regulierung.

1.3 STANDORT

Die erste Ausbaustufe des Heizwerkes ist 1982 - noch vor der Inkraftsetzung des Umweltschutzgesetzes - fertiggestellt und in Betrieb genommen worden. Bei der Projektierung ist zuerst ein Platz an der Heuwaage festgelegt worden, der aber aus baugesetzlichen Gründen fallengelassen werden musste, da die 68 Meter hohen Kamine nicht ins Stadtbild gepasst hätten. Nach der Studie anderer möglicher Standorte ist das 5900 m² grosse Grundstück an der Solothurnerstrasse im Gundelinger-Quartier bestimmt worden, ein Mischgebiet, das neben dichtem Wohnanteil auch Kleingewerbe und Bürogebäude aufweist. Das Gelände liegt in unmittelbarer Nachbarschaft zum Bahnhof SBB.

Mit dem Vorhaben für den Vollausbau wird somit eine bestehende Anlage weiter ausgebaut, wofür die bauliche Struktur bereits vorhanden ist.

Das Heizwerk Bahnhof ist Bestandteil des gesamten Wärmeverbundes und ermöglicht, das System der Wärmeringleitungen von Süden her mit Energie zu versorgen.

1.4 MATERIALFLÜSSE UND GELAGERTE STOFFE

1.4.1 Materialflüsse

Der Betreiber beabsichtigt, 90% der Fernwärmeenergie mit Erdgas und 10% mit Heizöl EL zu produzieren. 1987 wurden noch rund 25% der Energie im Heizwerk Bahnhof aus Heizöl EL gewonnen. Dieser relativ hohe Ölanteil ist auf die extreme Kältewelle in dieser Heizperiode sowie auf eine vertraglich limitierte Erdgasmenge zurückzuführen. Dementsprechend ist im Umweltverträglichkeitsbericht des Projektes der Heizölanteil mit 25% als ungünstigste Betriebsform angenommen worden. Diese Betriebsform wird auch der Risikobetrachtung zugrunde gelegt. Tabelle 1.1 ist eine Darstellung der Brennstoffmengen des Heizwerkes Bahnhof in den Jahren 1987 und 1994 (projektiert).

Tabelle 1.1 Brennstoffverbrauch 1987 und projektierte Brennstoffverbrauch des Heizwerkes 1994.

Brennstoff	Verbrauch 1987	Projektierte Verbrauch 1994	Zunahme
Heizöl EL	2'168 t	8'672 t	6'504 t
Erdgas	7,5x10 ⁶ Nm ³	30x10 ⁶ Nm ³	22,5x10 ⁶ Nm ³

1.4.2 Gelagerte Brennstoffe

Im Heizwerk Bahnhof wird das Heizöl EL in zwei unterirdischen Stahl-Zellentanks gelagert (2 x 2 Mio Liter). Diese Zellentanks sind in einem Keller untergebracht, der zugleich als Auffangwanne dient. Dieser Keller liegt seitlich ausserhalb des Heizwerkes und ist mit einer Zugangstüre verbunden. Zusätzlich sind pro Brenner je eine Standardflasche mit Propangas (12 kg) im Kesselhaus vor den Kesseln als Zündgas für die Brenner installiert.

1.5 ENERGIEFLÜSSE UND GELAGERTE ENERGIEMENGEN

1.5.1 Energieflüsse

Entsprechend der Zunahme der Brennstoffmengen der Jahre 1987 und 1994 (projektiert) wird die Energieproduktion vergrössert. Die Energieproduktionen sind in der Tabelle 1.2 dargestellt.

Tabelle 1.2 Energieproduktion 1987 und die projektierte Energieproduktion 1994 des Heizwerkes Bahnhof

Brennstoff	Energieproduktion 1987 (GWh)	projektierte Energieproduktion 1994 (GWh)	Zunahme (GWh)
Heizöl EL	21,5	95,2	73,7
Erdgas	60,5	274,0	213,5
Total	82,0	379,2	287,2

1.5.2 Gelagerte Energiemengen

Im Heizwerk Bahnhof werden energiehaltige Stoffe nur in Form von Heizöl EL und Propangas eingelagert. Die eingelagerten Energiemengen sind:

Erdöl	(3'200 t)	31,7 GWh
Propangas	(5 • 12=60 kg)	806 kWh
Total		31,7 GWh

Die Energiemenge des Propangases ist somit rund 40'000 mal kleiner als die des Heizöls.

2 DARSTELLUNG DER RISIKEN

2.1 DARSTELLUNG DER STOFFE, DIE EIN RISIKO BEINHALTEN

Im Heizwerk Bahnhof sind vorallem die Brennstoffe Erdgas und Heizöl EL als risikoträchtige Stoffe zu betrachten. Zusätzlich sind auch die fünf Druckflaschen mit Propangas, das als Zündgas verwendet wird, als ein gewisses Risiko nicht auszuschliessen.

2.1.1 Erdgas

Erdgas, der primäre Brennstoff im Heizwerk Bahnhof, wird verbreitet in Industrie und Haushalt als sichere Energiequelle verwendet. Das Erdgas besteht aus ca. 92% Methan und 7% Begleitgase wie CO_2 , N_2 , C_3H_8 und so weiter. Wegen seiner geringen relativen Dichte (ca. 0,7, leichter als Luft), verflüchtigt es sich bei allfälligen unerwünschten Austritten ziemlich rasch. Aus Sicherheitsgründen ist Erdgas mit Geruchstoffen odoriert.

Die wichtigsten sicherheitsrelevanten Eigenschaften sowie Energieinhalt von Erdgas sind in der Tabelle 2.1 dargestellt. Die Stoffeigenschaften und Brandgeschwindigkeit von Erdgas sind so vorteilhaft, dass Unfallrisiken bei seiner Verteilung und Anwendung in niederen Grenzen gehalten werden können. Dies bezieht sich vor allem auf die Explosionseigenschaften. Wegen der relativ kleinen Zündgeschwindigkeit von Erdgas wird im Falle einer Entzündung des Gasgemisches im freien Raum die Druckwelle mit Schallgeschwindigkeit, die Zündungswelle dagegen bedeutend langsamer fortgepflanzt [3]. Somit sind bei Erdgas sphärische Explosionen - Druck- und Zündwelle sind identisch - ausgeschlossen; sphärische Explosionen sind bei Erdgas, auch bei grösseren Gasaustritten, noch nie beobachtet worden. Eine Verpuffung mit einem maximalen Druckanstieg von 2 bar ist möglich, jedoch nicht eine Detonation, wo statische Drücke bis zu 10 bar erreicht werden. Deshalb sind

Tabelle 2.1 Sicherheitsrelevante Eigenschaften von Erdgas.

		Mittelwert	Grenze
Heizwert	kWh/m^3	10,13	9,82 - 10,51
Rel. Dichte	(Luft = 1)	0,609	0,56 - 0,64
Normdichte	kg/m^3	0,788	-
Brennluftbedarf	Vol/Vol Gas	9,63	-
Explosionsbereich	(20°C, 1bar) Vol%	5 - 15	-
Zündgeschwindigkeit	m/s	0,39	-

bei einer Verpuffung die kinetischen Drücke (Impuls) wegen der vergleichsweise geringeren Fortbewegung der Luftmassen bedeutend kleiner. Da normales, vertikal stehendes Mauerwerk eine Festigkeit von ca. 0,15 - 0,3 bar/cm² aufweist, sind bautechnische Massnahmen zur Verhinderung von Folgen einer Gasexplosion oder Verpuffung sehr schwierig.

2.1.2 Heizöl EL

Heizöl ist gemäss SNV in der Gefahrenklasse 3 eingestuft. Der Flammpunkt von Heizöl EL ist mindestens 55°C, d.h. Heizöl EL muss auf über 55°C aufgewärmt werden, damit der sich bildende Dampf die Konzentration des unteren Explosionsgrenzwertes erreicht. Der Dampfdruck von Heizöl EL bei Raumtemperatur ist so klein, dass keine explosiven Gasgemische entstehen können. Bei 20°C beträgt der Dampfdruck 0,55 mbar und bei 55°C 1,35 mbar^{*)}. Das im Heizwerk eingelagerte Heizöl EL bildet im Falle eines Ölaustrittes bei Raumtemperatur keine explosiven Gasgemische. Ausgelaufenes Heizöl EL und seine Dämpfe können nur durch ein anderes Feuer gezündet werden, das genügend Verbrennungswärme erzeugt, um Teile des Heizöls über den Flammpunkt von 55°C aufzuwärmen.

2.1.3 Propangas

Propangas, das zu den Flüssiggasen gehört, hat einen mittleren Heizwert von 13,43 kWh pro kg Gas (27,12 kWh/Nm³, siehe Tabelle 2.2). Im Unterschied zum Erdgas ist Propangas schwerer als Luft und sammelt sich bei einem Gasleck an der tiefsten Stelle - Bodenvertiefungen, Wannen - an. Die Diffusion von Propan in

Tabelle 2.2 Sicherheitsrelevante Eigenschaften von Propangas.

		Mittelwert
Heizwert	kWh/m ³	27,121
Rel. Dichte	(Luft = 1)	1,675
Normdichte	kg/m ³	2,019
Brennluftbedarf	Vol/Vol Gas	24,08
Explosionsbereich	(20°C, 1bar) Vol%	2,1 - 9,5
Zündgeschwindigkeit	m/s	-

der Luft ist wegen des grösseren molekularen Gewichtes geringer als beim Erdgas und kann dazu führen, dass diese Propanakkumulationen in Senkungen zum Teil längerfristig erhalten bleiben und sich dort bei fortwährendem Gasleck während Tagen vergrössern können. Infolge des höheren Heizwertes als Methan wird bei einer dreidimensionalen Propan-Explosion (Raumexplosion) ein verstärkter Druckanstieg bis zu 5 bar möglich sein. Eine sphärische Explosion [4] ist jedoch beim Bersten einer 12 kg-Druckflasche nicht zu erwarten. Diese Explosionsart wurde bis heute in nur ganz wenigen Fällen beobachtet, wo grosse Lagerbehälter infolge

^{*)} Die Dampfdruckwerte für Heizöl EL wurden von Dr. Gartenmannan der EMPA ermittelt.

Überhitzung barsten. Dazu gehören zum Beispiel die Katastrophen in Mexico City (1986) und im Ural/USSR (1989, Bruch einer Kondensatleitung).

2.2 RISIKEN DER ANLAGEINSTALLATIONEN

Bei der Risikobetrachtung der Anlageinstallationen sind vorallem die Heisswasserkessel und die Gasleitungen relevant.

2.2.1 Risiken der Heisswasserkessel

Die Wasserrohrkessel mit je 2360 m² Heizfläche der Firma Sulzer in Winterthur werden vom Schweizerischen Verein für Druckbehälterüberwachung (SVDB) abgenommen. Diese Heisswasserkessel zeichnen sich durch eine sehr geringe Schadenhäufigkeit aus. Zusätzlich ist das Wasser der Fernwärmeversorgung, das durch diese Heizkessel zirkuliert, zur Verhinderung der Belagsbildung und Korrosion demineralisiert und sauerstofffrei gemacht. Heisswasserkessel müssen alle zwei Jahre einer äusseren und alle vier Jahre einer inneren Kontrolle unterzogen werden. Festgestellte Schäden an den Kesseln, sowohl während des Betriebes als auch während der Kontrolle, müssen dem SVDB gemeldet werden, welcher diese untersucht und die notwendigen Reparaturen anordnet.

2.2.1.1 Beobachtete Schadenfälle an Heisswasserkesseln

In der Schweiz sind in den letzten zehn Jahren rund 800 Heisswasserkessel betrieben worden (1988: 793). Dabei wurden vom SVDB in der Periode von 1978 - 1988 (siehe Tabelle 2.3) 73 Schadenfälle registriert. Mit Ausnahme von einem Ereignis sind alle festgestellten Schäden ohne Auswirkungen geblieben und wurden entweder beim Betrieb oder bei den Kontrollen festgestellt. Von diesen 73 Schäden können 72 bezüglich Auswirkungen als bedeutungslos bezeichnet werden, da die Fehler bemerkt wurden, bevor ein grösseres Unglück geschehen konnte. In einem einzigen Falle kam es zu einem grösseren Schadenfall, der Auswirkungen auf das Kesselhaus hatte. In einem Heisswasser-Strahlungskessel (150-200 m² Heizfläche) kam es zu einer Explosion, deren Ursache nicht genau abgeklärt werden konnte (Vermutlich Ausfall der Flammenüberwachung). Es wurden auf dem Kesselboden Spuren von unverbranntem Öl gefunden. Die Schäden werden im SVDB-Rapport folgendermassen dargestellt:

"Schaden: Die Isolierungen der Seitenwände, sowie die Frontwand sind stark ausgebeult (ca. 20 cm) und teilweise aufgerissen. Der mittlere Teil der Rückwand beim Eco (Economizer=Wärmeaustauscher) ist herausgerissen. Am Gebäude selbst sind einige Glas-scheiben und die Türe defekt. Personen kamen keine zu Schaden, da sich zur Zeit des Unfalls niemand im Kesselhaus befand. Am Kesselkörper (druckbeaufschlagten Teilen) ist kein Schaden entstanden. Somit betrifft die Reparatur nur Isolationen und Gebäude-teile." (Zitat vom Schadenrapport des SVDB)

Bei dem dargestellten Ereignis handelt es sich um ein Unfall mit einem ölbefeuerten Heisswasserkessel, der, verglichen mit den im Heizwerk Bahnhof angewendeten Kesseln, von der Konstruktion und Brenneranlage sehr unterschiedlich aufgebaut ist.

Tabelle 2.3 Schäden an Heisswasserkessel (Rauchrohr-, Wasserrohr- und Kleinwasserrohrkessel) in der Periode von 1978 bis 1988 (Quelle: SVDB).

Jahr	Konstruktionsbedingte Schäden	Speisewasser (Kesselstein, Korrosion etc.)	Betriebseinflüsse wie: Feuerungseinflüsse, Taupunktunterschreitungen Stillstandkorrosionen	Total
1978	2	2	3	7
1979	3	1	1	5
1980	1	4	1	6
1981	4	6	5	15
1982	2	3	2	7
1983	1	1	3	5
1984	2	0	5	7
1985	1	0	2	3
1986	1	1	9	11
1987	1	1	3	5
1988	2	0	0	2
Total	20	19	34	73

2.2.1.2 Schadenhäufigkeit

Entsprechend den gesammelten Daten des SVDB kann zusammengefasst werden, dass bei der Dauer von 8'000 kumulierten Betriebsjahren nur ein grösserer Unfall mit Heisswasserkesseln beobachtet wurde und pro ca. 110 Betriebsjahren mit einer Reparatur gerechnet werden muss. Ein Aufbrechen der unter Druck stehender Teile und damit verbundenes Freisetzen von Heisswasser wurde in keinem einzigen Falle beobachtet.

2.2.2 Risiken verbunden mit der Gasversorgung

Die Sicherheit der Anlageteile der Gasversorgung wurden vom Tech. Inspektorat des Schweiz. Gasfaches (TISG) beurteilt. Die in diesem Kapitel aufgeführten Überlegungen sind vom TISG übernommen.

2.2.2.1 Brenner

Bei den kombinierten Öl-Gas-Brennern der Fa. Saacke handelt es sich um durch den SVGW^{*)} abgenommene und zugelassene Einheiten. Die sich seit mehreren Jahren in Betrieb befindenden Kesselarmaturen (Gasstrasse) sowie die Brenner wurden mehrmals durch das Technische Inspektorat des Schweizerischen Gasfaches (TISG) kontrolliert, wobei keine Mängel festgestellt wurden. Bei der vorgesehenen Erweiterung der Anlage werden baugleiche Einheiten aufgestellt.

^{*)} SVGW: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs

Die bestehenden sowie die vorgesehenen Gasbrenner der Firma Saacke sind praxiserprobte, mit allen sicherheitstechnisch notwendigen Vorrichtungen versehene Industrieapparate. Sie werden in grossen Stückzahlen bei grösseren Heizungsanlagen in der Schweiz und in der ganzen Welt eingesetzt. Es ist uns (TISG) nicht bekannt, dass sich beim Betrieb dieser Brenneinheiten in den letzten 20 Jahren ein Explosionsunfall ereignet hätte. Theoretisch wäre es möglich, dass es beim Versagen der Flammenüberwachungselemente und der entsprechenden Sicherheitsabsperrarmaturen im Verbrennungsraum zu einer Verpuffung kommen könnte. In diesem Falle wird sich dieses Ereignis nur auf die bestehenden Kesseleinheiten beschränken. Dabei könnte eine Beschädigung der Kessel bzw. der Kamine erfolgen. Wegen der Sicherheits- und Berstklappen in den Rauchgaszügen kann dieses Ereignis aber keinesfalls den unter Druck stehenden Kesselteil zerstören und damit eine katastrophale Grösse annehmen. Es wird sich mit Sicherheit nicht über die Arealgrenze ausbreiten können.

Die Hersteller von Gasbrennern, unter denen die Fa. Saacke eine führende Position einnimmt, haben einen Stand der Technik erreicht, der fast alle möglichen Betriebsstörungen mit Todesfall- oder Explosionsrisiken ausschliesst. Die gegenseitige Verriegelung der verschiedenen Sicherheitskreise sowie der Flammenüberwachung, usw. erfolgt vollautomatisch, ohne die Möglichkeit menschlichen Einwirkens auf diesen Prozess. Bei Ausfall nur einer der verschiedenen Sicherheitskreise wird die ganze Anlage sowie die Gaszufuhr ins Gebäude automatisch abgestellt. Aufgrund dieser Tatsache wird ein Unglücksereignis nach den Bemessungsvariablen mit einer Zahl von $2 \cdot 10^{-6}$ /Jahr bezeichnet. Dieser Wert liegt weitgehend unter demjenigen der Prozesse in der chemischen oder Maschinenindustrie. Leider sind solche Berechnungen in der Vergangenheit sehr selten durchgeführt worden, sodass eine über längere Zeit geführte Statistik nicht vorliegt.

2.2.2.2 Sicherheit der Rohrleitungen

Es handelt sich bei den Gas-Verteilleitungen im Gebäude des Kesselhauses um geschweisste bzw. mit Flanschen versehene Stahlleitungen. Ein Rohrbruch ist infolge inneren Überdrucks unmöglich. Die Bruchfestigkeit der Stahlleitungen beträgt ca. 90 bar. Da der Betriebsdruck 5 bar nicht übersteigen kann, ist eine 18-fache Sicherheit vorhanden. Dagegen können bei den Flansch-, Kontroll- und Messöffnungen usw. Undichtheiten auftreten. Solche Undichtheiten sind aber normalerweise so klein, dass sie keine Gefährdungspotentiale in sich tragen. Bei regelmässiger Wartung, Benutzung des vorgeschriebenen Materials, usw. sind sie praktisch ausgeschlossen.

Haarrisse oder Rohrbrüche an geschweissten Stahlleitungen sind beim vorgesehenen Betriebsdruck praktisch unbekannt. Die Elastizität dieser Leitungen widersteht den üblichen temperaturbedingten Ausdehnungen und Belastungen problemlos. Auch die Flanschverbindungen weisen eine mehrfache Sicherheit gegen solche Belastungen auf. Eventuelle Leckagen können höchstens durch undichte, trennbare Verbindungen wie Flanschen, Verschraubungen, usw. entstehen. Diese halten sich jedoch in Grenzen und stellen kein besonderes Gefährdungspotential dar. Die Stahlleitungen im Erdboden (z.B. Zuleitung zum Heizwerk Bahnhof) sind kathodisch geschützt, sodass Korrosionsschäden und unkontrollierter Gasaustritt praktisch nicht möglich sind. Ausserdem werden diese Leitungen gemäss den diesbezüglichen Richtlinien des

SVGW in regelmässigen Abständen mittels Gasindikationsgeräten abgesucht, die entsprechenden Resultate protokolliert und durch eine Oberaufsicht kontrolliert. Die in den Zeitungen oft erwähnten Explosionen von Gebäuden, Wohnhäusern, usw. sind mehrheitlich auf Rohrbrüche alter Gussleitungen zurückzuführen. Das Gas, das aus einem solchen Bruch austritt, breitet sich bis zu den Gebäudemauern aus, diffundiert in Kellerräume und wird später durch verschiedene Zündquellen zur Explosion gebracht. Dadurch werden oft auch Gebäude, die keinen Gasanschluss aufweisen, betroffen. Im Falle des Heizwerkes Bahnhof ist diese Eventualität sehr unwahrscheinlich.

Da die Sicherheitsarmaturen in der Mess- und Übergabestation sowie bei den einzelnen Kesseln auf einen eventuellen plötzlichen Rohrbruch im Bruchteil einer Sekunde reagieren, kann auch in einem solchen Falle nur die Menge entweichen, die sich in den Rohren befindet. Ein Gefahrenpotential infolge plötzlichen Rohrbruchs kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Aufgrund der vorerwähnten Überlegungen liegen im vorgesehenen Projekt keine Gefahrenpotentiale, welche die technische Einrichtung, Gasleitungen, usw. betreffen und Anlass zu sicherheitstechnischen Bedenken geben könnten. Als eventuelles Gefahrenpotential können dagegen Fehlmanipulationen, Nachlässigkeit, usw. des Personals oder der mit Reparaturen, Kontrollen usw. beauftragten Personen gelten. Bei solchen Vorfällen können objektbegrenzte Schäden entstehen. Unserer Erfahrung nach können solche Risiken durch regelmässige Kontrollen, Schulung des Personals usw. in tragbaren Grenzen gehalten werden. Keinesfalls sind aber Ereignisse möglich, die katastrophale Auswirkungen auch auf die unmittelbare Umgebung des Heizwerkes haben können.

2.2.2.3 Bekannte Unfälle mit Erdgas

Aufgrund der beim TISG vorliegenden, statistischen Unterlagen sind in der Schweiz keine bedeutenden Unfälle in Kesselhäusern bekannt, die auf das Versagen der technischen Einrichtungen zurückzuführen sind. Alle bisher bekannten Schadenereignisse basieren auf menschlichem Versagen. Zur Hauptsache erfolgen unvorhergesehene Gasaustritte bei Reparaturen, Revisionen, der Beseitigung von Störfällen, usw. Das Nichtanbringen von Zapfen, Impulsleitungen, Dichtungen, usw. kann bei der Inbetriebnahme der Anlage unerwünschte Vorfälle verursachen. Da der Zeitraum zwischen dem Gasaustritt und der Zündung des brennbaren Gas-Luft-Gemisches normalerweise nur kurz ist, verlaufen solche Ereignisse in Form von Verpuffungen, die keinen grossen Schaden anrichten. Relativ oft werden dabei jedoch die Arbeiter verschiedenartig verletzt (Brandwunden, Schürfungen, usw.).

Grosskatastrophen mit Erdgas sind eigentlich nicht bekannt. Unfälle, bei denen z.B. Mehrfamilienhäuser oder kleinere Objekte durch Gasexplosion zerstört werden, sind entweder auf Rohrbrüche von Leitungen in der Strasse (Gussleitungen) oder menschliche Fahrlässigkeit zurückzuführen. Selbstmordversuche, das Basteln an Gasapparaten oder Gaszuleitungen u.ä. verursachen die meisten dieser Vorkommnisse. Die Tragweite der Explosionen ist jedoch immer auf das Objekt begrenzt. Es sind keine Fälle bekannt, wo die Trümmer, Druckwelle, usw. Objekte in einem Umkreis von mehr als 20 m beschädigt haben. Die stoffspezifischen Eigenschaften

des Erdgases verunmöglichen sog. sphärische Explosionen wie z.B. diejenigen, die sich bei der Katastrophe in Mexico mit Flüssiggas ereignet hat.

Wie bereits erwähnt sind Unfälle bekannt, bei denen kleinere Gasverluste durch Nachlässigkeit des Personals nicht entdeckt wurden, wodurch Brände oder Verpuffungen entstanden. Meistens treten solche Vorkommnisse bei Inbetriebnahmen, Reparaturen, usw. auf. Sie laufen relativ glimpflich ab. Natürlich können grössere Ereignisse nicht ausgeschlossen werden. Dabei müssen jedoch in kurzer Zeit grössere Gasmengen austreten. Solche Vorfälle sind immer auf grobe Fahrlässigkeit zurückzuführen; sie haben sich in den letzten Jahren in der Schweiz nicht ereignet. Durch richtige Information, Auswahl und Schulung des Personals sowie entsprechende Kontrollen können sie eliminiert werden.

Ein gleichzeitiges Versagen der diversen Sicherheitskreise kann nicht vorkommen. Eine Stilllegung des Sicherheitssystems wegen Bau- und Unterhaltsarbeiten ist eigentlich durch den § 230.1 Strafgesetzbuch untersagt und wird als grobe Fahrlässigkeit bestraft.

Für die Arbeiten unter Gas sind alle Eventualitäten in den Richtlinien für die Verhütung von Unfällen in der Gasindustrie, G/TISG 201, erwähnt. Bei Einhaltung dieser Vorschriften ist das Risiko auf ein Minimum beschränkt. Das sog. menschliche Versagen, das auch bei routinierten und erfahrenen Arbeitern zu unerwünschten Vorfällen führt, kann durch entsprechende Kontrolle, Schulungen usw. weitgehend eliminiert werden.

Gemäss den Leitsätzen des SVGW ist eine Undichtheit von 30 l Gas pro Stunde als unbedenklich zu betrachten. Diese unbedenkliche Undichtheit ist selbstverständlich abhängig von der Raumgrösse und Belüftung. Bei der Grösse des Heizraumes und vorhandenen Lüftungssystems muss angenommen werden, dass mindestens ein 5-facher Luftwechsel pro Stunde erfolgt. Demzufolge kann auch eine - kaum vorstellbare - grössere Undichtheit kein homogenes, explosives Gas-Luft-Gemisch verursachen.

2.3 BETRIEBSABLÄUFE, DIE EIN RISIKO BEINHALTEN

Betriebsabläufe, die ein Risiko beinhalten können, sind das Zünden der Brenner beim Anfahren der Heisswasserkessel oder beim Brennstoffwechsel. Diese werden aus Sicherheitsgründen nicht durch Fernsteuerung von der Zentrale an der Voltastrasse, sondern im Heizwerk Bahnhof durchgeführt. Die Brenner für Erdgas und Heizöl EL sind verschieden und können nicht miteinander verwechselt werden. Ebenfalls kann das Entladen der Tanklastwagen mit einem Risiko verbunden sein.

3 RISIKO-MINDERNDE MASSNAHMEN (BAUAUSFÜHRUNG UND NORMEN)

3.1 BESTEHENDE BAU- UND BETRIEBSVORSCHRIFTEN

Das Gebäude ist gemäss der SIA-Norm 160 - *Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten* - für Erdbeben der Klasse VIII (Rossi-Forrel-Skala, horizontale Beschleunigung: 0,05 g) ausgelegt. Obwohl in der ganzen Schweiz die Erdbeben-Intensitätsklasse VII (horizontale Beschleunigung: 0,02 g) angewendet wird, ist die höhere Klasse gewählt worden. Weitere angewendete Normen sind:

- Richtlinien für Bau, Unterhalt und Betrieb von Gas-Druckanlagen mit Vordrücken von 0,1 bis 5 bar, SVGW^{*)} Norm G7.
- Richtlinien für den Bau und Betrieb von Gasfeuerungen, SVGW Norm G3.

3.2 BESTEHENDE NORMEN UND ABNAHMEVORSCHRIFTEN FÜR HEISSWASSERKESSEL

Die Heisswasserkessel sind gemäss den Richtlinien des SVDB^{**)} und nach SNV hergestellt. Vor der Inbetriebnahme werden die einzelnen Kessel erst nach einer Abnahme-Inspektion durch den SVDB zugelassen. Alle zwei Jahre werden die Kessel in einer Revisions-Inspektion vom SVDB untersucht. Bei Kessel-Störfällen werden die Ursachen des Störfalles vom SVDB untersucht und festgehalten; erst nach der Behebung der festgestellten Mängel darf der Kessel wieder in Betrieb genommen werden. Die Kontrollberichte werden im Kesselbuch festgehalten.

3.3 BESTEHENDE NORMEN FÜR SICHERHEIT VON GASLEITUNGEN

Der Betriebsdruck in den Gasleitungen nach der Filter- und Trocknungsstation ist maximal 5 bar. Die Bruchfestigkeit der Stahlrohre mit geflanschten und geschweissten Rohrverbindungen ist 90 bar. Somit besteht eine 18-fache Betriebssicherheit der Rohrleitungen. Die Gestaltung und Festigkeit der Rohrleitungen ist in der Verordnung zu Rohrleitungen, durch den SVGW sowie in der SNV geregelt.

^{*)} SVGW: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs

^{**)} SVDB: Schweizerischer Verein für Druckbehälterüberwachung

3.4 ZUSÄTZLICHE GAS-DETEKTOREN IM BEREICH VON GEFLANSCHTEN GASLEITUNGEN

Im Bereich der geflanschten Gasleitungen sind katalytische Sensoren zum Teil mit Sammeltrichtern über den Flanschen angebracht. Die Sensoren werden einmal pro Jahr vom Hersteller gewartet und geeicht.

3.5 BESTEHENDE NORMEN FÜR DIE SICHERHEIT VON TANKANLAGEN

Die Sicherheit der unterirdischen Tankanlagen ist im Gewässerschutzgesetz sowie in der SNV geregelt. Brandschutzmassnahmen sind vom BVD^{*)} aufgestellt worden und die ausserhalb des Gebäudes liegende Tankanlage, die mit Feuermelder ausgerüstet ist, ist vom Feuerwehrenspektorat Basel bei der Baubewilligung abgenommen worden. Die Stahltanks sind mit einem Doppelboden ausgerüstet, der durch einen konstanten Unterdruck auf Dichtheit überwacht wird. Bei einer Undichtheit durch Korrosion wird der Unterdruck verringert. Der Unterdruck wird vom Gewässerschutzamt regelmässig überprüft. Die Tanks werden alle 10 Jahre revidiert. Der Tankkeller, der als zusätzlich Auffangwanne ausgebildet ist, ist nur durch eine Brandschutztüre erreichbar.

3.6 ZUSÄTZLICHE MASSNAHMEN ZUR IDENTIFIZIERUNG VON HEIZÖLVERLUSTEN

Alle Heizöl-Armaturen sind mit Auffangwannen ausgerüstet. Die Auffangwannen der Pumpen und Hauptventile sind mit dem Ölabscheider verbunden, in dem Sensoren das Vorhandensein von Öl feststellen. Die lokalen Auffangwannen, die nicht mit dem Ölabscheider verbunden sind, haben eigene Öl-Sensoren.

^{*)} BVD: Brandverhütungsdienst für Industrie und Gewerbe.

4 RISIKOMINDERNDE MASSNAHMEN UND VORSCHRIFTEN BEI BETRIEBSABLÄUFEN

4.1 BETRIEBSVORSCHRIFTEN FÜR PIKETTDIENST

Die täglichen Betriebskontrollen im Heizwerk Bahnhof und Heizwerk Dolderweg sind in einer Weisung definiert. Entsprechend dieser Weisung werden während der Betriebszeit vom Oktober bis Mai werden täglich Kontrollen an der Anlage durchgeführt. Diese Kontrollen umfassen:

1. Brennstoffversorgung:
Visuelle Kontrolle der Gasversorgung ab Haupteinspeisung bis zu den Brenneranlagen. Dabei soll vor allem auf allfälligen Gasgeruch geachtet werden. Störungen an der Gasversorgung sind sofort der Betriebsleitung zu melden. Die Kontrolle der Öl-Tankanlagen erfolgt nach Weisung FB*) vom 30. Mai 1989.
Die Ölpumpen und Brennstoffleitungen bis zur Brenneranlage sind auf Dichtheit zu prüfen.
2. Feuerungsanlage:
Die Feuerungsanlage ist im Betrieb auf die Einhaltung der optimalen Rauchgaswerte zu prüfen.
Die Sicherheitseinrichtungen an den Brenneranlagen sind wöchentlich zu überprüfen (Flammenwächter, Feuerraumdruck, Zwischendruck der Ventilkombination).
Kontrolle der Rezirkulationsventilatoren.
3. Kesselanlage:
Allgemeine visuelle Kontrolle der Kesselanlagen auf Dichtheit der Stopfbüchsen und Flanschverbindungen.
Kontrolle der im Betrieb befindlichen Anlagen am Vorortsschrank.
4. Fernwärmeanlagen:
Allgemeine Kontrolle der Anlage auf Dichtheit von Stopfbüchsen und Flanschverbindungen
5. Umweltschutzanlagen: (wöchentlich)
Kontrolle und Entleerung der Rauchgaskondensatgefässe.
Kontrolle des Ölabscheiders am Ölumschlagplatz.
Kontrolle der Ölwannen an den Ölpumpen und an den Brennern.

Im weiteren sind in dieser Weisung die Zuständigkeiten der Unterhalts- und Reinigungsarbeiten geregelt und die Führung eines Überwachungsprotokolles festgelegt. Die Kopie dieser Weisung ist in Anhang V, Seite 50, wiedergegeben.

*) FB: Fernwärme Betrieb

4.2 SICHERHEITS- UND ALARMDISPOSITIVE BEIM FERNSTEUERUNGSBETRIEB

Das Heizwerk Bahnhof wird im Normalbetrieb von der Zentrale an der Voltastrasse aus ferngesteuert. Kritische Betriebsabläufe werden jedoch nicht durch Fernsteuerung abgewickelt, sondern durch Betriebspersonal im Heizwerk selbst vorgenommen. Das Fernsteuersystem ist mit einem Alarmsystem verbunden, das optisch und akustisch im Zentralsteuerraum angezeigt wird. Das akustische Alarmsignal ist nach Quittierung im Kommandoraum ausschaltbar. Das optische Alarmzeichen kann erst nach Störungsbehebung im Heizwerk Bahnhof sowie einer dortigen Alarmquittierung ausgeschaltet werden. Die Grösse des Alarmes ist je nach Störung abgestuft. Verschiedene Alarm-Kriterien sind so geschaltet, dass automatisch der Schnellschluss der Erdgasleitung (Hauptgasventil) geschlossen wird. Bei Alarmauslösung in der Steuerzentrale Voltastrasse wird sofort der Pikett-Dienst in das Heizwerk Bahnhof entsandt, um die Störung zu beheben.

4.3 SICHERHEITSVORSCHRIFTEN BEIM ZÜNDEN DER BRENNER

Die Brenner der Heizkessel können nicht von der Voltastrasse aus gezündet werden. Dieser Vorgang muss an Ort vorgenommen werden. Als Zündgas wird Propan verwendet.

Der Zündvorgang ist durch die "Saacke-Platine" [5] fest vorgegeben und kann nicht individuell abgeändert werden. Das Zünden muss von instruiertem Personal vorgenommen werden.

4.4 SICHERHEITSMASSNAHMEN UND VORSCHRIFTEN BEIM BRENNSTOFFWECHSEL

Die Brenner für Heizöl EL und Erdgas sind verschieden. Beim Brennstoffwechsel müssen die Brenner abgestellt und anschliessend herausgezogen werden. Erst dann können die neuen Brenner für den zweiten Brennstoff eingesetzt werden. Das Zünden erfolgt analog zum oben dargestellten Vorgang.

4.5 RISIKO-MINDERNDE MASSNAHMEN WÄHREND AUSBAUPHASE

Während des Baues und Installation der neuen Kessel werden die zwei im Betrieb stehenden durch eine Trennwand abgetrennt.

5 RISIKO-MINDERNDE MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR KATASTROPHEN BEI HAVARIE

5.1 VORSORGLICHE MASSNAHMEN ZUR AUSMASS-MINDERUNG

Verschiedene Sicherheitsmassnahmen sind im Heizwerk Bahnhof integriert, um die Auswirkungen einer Störung und damit das Risiko zu begrenzen. Diese zielen auf die zwei Hauptrisiken des Heizwerkes Bahnhof, die Beschädigung der Heisswasserkessel sowie Austritt und Entzündung von Erdgas.

5.1.1 Schutz vor CO- und Gasverpuffung im Brennraum

Der Brennraum in den Heisswasserkesseln ist mit einer Flammenüberwachung sowie einer Zu- und Abluftmessanlage versehen.

- Sobald die Flammenüberwachung feststellt, dass die Flamme erlischt, wird die Brennstoffzufuhr unterbrochen und Alarm ausgelöst.
- Sobald die Luftregelung eine unterstöchiometrische Verbrennung feststellt, wird die Brennstoffzufuhr unterbrochen und Alarm ausgelöst.
- Falls trotzdem explosive Gase entstehen, seien es unverbrannte Gase oder Kohlenmonoxid, und diese zur Entzündung kommen, kann es im Brennraum und den Rauchgaszügen zu einer Verpuffung kommen. Um den Druckanstieg zu mindern, sind im Brennraum und in den Rauchzügen Sicherheitsklappen und Berstplatten angebracht, die den Druckanstieg auf maximal 2 bar begrenzen.

5.1.2 Sicherheitseinrichtungen am Kessel

Die Bewilligung für den Betrieb der Heisswasserkessel ohne ständige Aufsicht (Fernsteuerung) wurde am 19. Januar 1983 vom SVDB unter folgenden Auflagen erteilt:*)

Zusätzlich zu den bestehenden Regeleinrichtungen müssen die vom SVDB verlangten Sicherheitsbegrenzer an jedem Kessel vorhanden sein:

1. *Strömungswächter im Rücklauf*
2. *Temperaturbegrenzer im Vorlauf*
3. *Druckbegrenzer im Vorlauf*

Eine Funktionskontrolle dieser Begrenzer muss auch während des Betriebes jederzeit leicht durchführbar sein. Zudem sind die Begrenzer so zu sichern, dass deren Einstellung nicht durch Unbefugte verändert werden kann. Jeder Brenner muss

*) Siehe Kopien der Bewilligung in Anhang IV

augenblicklich und vollständig ausschalten und verriegeln beim Ansprechen der Begrenzer durch:

1. *Unterschreiten der min. Durchflussmenge*
2. *Überschreiten der max. Vorlauftemperatur*
3. *Störung an den Brennern*
4. *Überschreitung des maximalen Druckes*

Die Wiederinbetriebnahme der Brenner darf nur durch Entriegelung von Hand an den Kesseln selbst oder am zugehörigen Schaltschrank im Heizwerk Bahnhof möglich sein.

Die Bewilligung regelt auch das Alarmdispositiv.

5.1.3 Schutz vor Erdgasaustritten und Gasexplosionen

- Das Erdgas-Leitungssystem ist mit einer Bruchsicherheit von 90 bar erstellt. Die Anordnung der geschweissten Rohre ist so gestaltet, dass die Ausdehnung der Rohre infolge von Erwärmung keine Zusatzbelastung bewirkt. Somit haben die Rohrleitungen mit max. 5 bar Betriebsdruck eine 18-fache Sicherheit.
- Die Erdgasleitung zum Heizwerk ist kathodisch gegen Korrosion geschützt und wird periodisch geprüft.
- Alle geschweissten Rohrverbindungen sind nach der Erstellung mit Röntgenstrahlen untersucht worden.
- Alle Rohrleitungen, sowie Verteil- und Messstationen, die geflanschte Rohrverbindungen haben, sind mit katalytischen Gas-Sensoren System Sieger ausgerüstet. Der Alarm wird zweistufig ausgelöst.
 1. Stufe: Voralarm bei 20% des unteren Explosionsgrenzwertes (UEG)
 2. Stufe: Alarm mit Schnellschluss der Hauptleitung und Abschalten der Anlage bei 40% UEG.

Die Platzierung der Detektoren sind:

- Gas-Filterstation 2 (bei Türe und hinten)

je Kessel:

- Mess-Station (Zwischengeschoss Keller) 2, vorne und hinten
- Kessel (unten rechts) 1
- Kessel 2, oben rechts und links.

Im Vollausbau werden 27 Detektoren installiert sein. Die Detektoren werden jährlich (vor jeder Heizperiode im Herbst) kontrolliert und geeicht.

5.1.4 Pneumatisches Hauptgasventil

Das pneumatische Hauptgasventil befindet sich in der Filterstation. Dieses Ventil wird automatisch geschlossen bei:

- Betätigung des Not-Ausschalters auf der Anlage
- Betätigung des Not-Ausschalters vom Gebäude,
- wenn kein Brenner in Betrieb steht,
- wenn die Anlage mit Öl betrieben wird,
- bei Gasalarm 2. Stufe,
- bei Ausfall der Steuerluft,
- bei Ausfall der elektrischen Energie.

Wenn die Druckdifferenz vor und nach dem Hauptventil mehr als 0,4 bar beträgt, öffnet sich das Ventil nicht mehr selbständig. Durch eine Bypassleitung kann der Druckausgleich wieder hergestellt werden, sodass das Ventil automatisch geöffnet werden kann. Diese Manipulation darf nur von instruiertem Personal durchgeführt werden. Zudem ist die Abteilung IWB/GB zu benachrichtigen.

5.1.5 Massnahmen zur Verhinderung von Boden- und Gewässerverunreinigung bei Ölumschlag

Es besteht die Gefahr, dass beim Umschlag von Tanklastwagen in den Lagertank Heizöl verschüttet wird. Der Umschlagplatz ist mit einem automatischen Schalter, der mit der Zugangstüre zu den Einfüllstutzen gekoppelt ist, gesichert. Sobald die Türe geöffnet wird, wird die Platzentwässerung auf den Ölabscheider umgeschaltet. Der Ölabscheider ist eine abgedichtete Betonwanne und kann die ganze Ladung eines Tankzuges (mit Anhänger) aufnehmen. Sobald die Detektoren im Abscheider eine Flüssigkeit messen, wird ein Alarm ausgelöst. Der Ölabscheider hat keinen direkten Ausfluss und muss ausgepumpt werden.

5.1.6 Gas-Sensoren (System)

5.1.6.1 Funktionsweise

Die katalytischen Sensoren zur Feststellung von feuergefährlichen Gasen enthalten zwei Elemente, die durch eine Stromversorgung aus dem elektronischen Kontrollgerät erhitzt sind. Das eine Element reagiert empfindlich auf die Gegenwart von brennbaren Gasen: Die Element-Temperatur steigt mit der zunehmenden katalytischen Oxidation des Gases. Der resultierende Anstieg des elektrischen Widerstands des aktiven Elementes, proportional zur Gaskonzentration, wird von der elektronischen Kontrolleinheit registriert und zur Konzentrationsanzeige sowie zur eventuellen Alarmauslösung verarbeitet. Das zweite Element mit einer vernachlässigbar kleinen "Gas-Empfindlichkeit" kompensiert Veränderungen der Umgebungstemperatur und Feuchtigkeit.

5.1.6.2 Filament-Sensoren

Die zur Zeit verwendeten katalytischen Gassensoren System Sieger bestehen aus zwei als Katalysatoren wirkende Thermo-Drähten (Filamenten), wobei der eine, der "vergiftet" ist, zur Kalibrierung dient. Der katalytisch aktive Draht wird beim Kontakt mit oxidierbarem Erdgas durch die Reaktionswärme erwärmt. Die Temperatur der Drähte wird durch den ohm'schen Widerstand gemessen und aus der Temperaturdifferenz zwischen dem aktiven und passiven Draht kann die Erdgaskon-

zentration ermittelt werden. Die Sensoren sind mit einem Explosionsschutzsieb abgedeckt.

Die katalytische Oberfläche der Filamentsensoren ist durch das Explosionsschutzsieb nur beschränkt abgedeckt; speziell Silikone - aus Sprays und Schmiermittel - wie auch verschiedene Säuren können als Luftverunreinigungen die Katalysatoren vergiften. Eine Reduktion der katalytischen Aktivität wird auch durch Salzsäure und durch hoch konzentrierte chlorierte Kohlenwasserstoffe (Lösungsmittel) bewirkt, wobei letztere eine progressive Erschöpfung der Aktivität bewirken. Das Sensorensystem kann weder eine plötzliche oder zunehmende Vergiftung der katalytisch aktiven Filamente nicht selbständig feststellen und entsprechend anzeigen, da die Vergiftung keine Veränderung des Widerstands bewirkt. Das Risiko der Sensorenvergiftung im Heizwerk Bahnhof ist jedoch gering, das sich in dieser Anlage keine offene und geschmierte Maschinenteile als Quelle der Katalysatorenvergiftung befinden. Mechanische Einwirkungen durch Vibrationen und Erschütterungen können die Standdauer der Filamentsensoren reduzieren.

5.1.6.3 Neue Kompaktsensoren

Die neuen Kompaktsensoren, die nach der Erweiterung der Anlage zum Einsatz gelangen, arbeiten prinzipiell nach dem selben Prinzip wie die Filamentsensoren. Die Konstruktion dieser Sensoren ist jedoch wesentlich verbessert: Die katalytisch aktive Oberfläche ist durch ein Molekularsieb gesichert. Damit wird eine Vergiftung der Sensoren durch die relativ verbreiteten Silikone - die das Molekularsieb nicht passieren können - unterbunden. Die Kompaktsensoren sind gegenüber Erschütterungen und Vibrationen unempfindlich.

5.1.6.4 Sicherheit des Systems

Die Gesamtsicherheit des Systems umfasst folgende Punkte:

- Das Sensorensystem arbeitet mit 24 Volt Gleichspannung (Akkumulatorbetrieb), der gegen Stromausfall gesichert ist.
- Ein Unterbruch der Leitungen zu den Sensoren wird vom Gerät registriert und mit einer Fehleranzeige gemeldet.
- Während Kalibrierarbeiten nach Öffnen der Klappe für die Einsteller und Teststecker auf der Alarmkarte wird bei Überschreitung der Grenzwerte kein Alarm ausgelöst und die Ausgänge sind freigeschaltet. Die Freischaltung wird ca. 60 s nach Schliessen der Klappe auf der Alarmkarte automatisch aufgehoben.
- Ein Ausschalten des Gerätes oder Abfallen der Betriebsspannung wird angezeigt.

Das Gerät wurde von verschiedenen Organisationen geprüft, u.a. von der Westfälischen Bergwerkschaftskasse, Prüfstelle für Grubenbewetterung.

6 ERMITTLUNG DER RISIKEN (VORGEHEN)

Die Risiken der Anlage werden mit zwei unterschiedlichen Methoden untersucht. Zur Anwendung gelangen in der Untersuchung eine **Ausfall-Analyse** - zur Untersuchung der Energiefreisetzung bei Störfällen - sowie eine **Fehlerbaum-Analyse** - zur Überprüfung der Wirksamkeit der Sicherheitsvorkehrungen zur Verhinderung des grössten anzunehmenden Unfalls (GAU).

6.1 AUSFALL-ANALYSE

In der Ausfallanalyse werden die Voraussetzungen eines Störfalles - Fehler, Fehlmanipulationen sowie Ausfall der entsprechenden Sicherheitsvorrichtungen - erläutert und die Tragweite des Unfalls dargestellt. Die Störfallszenarien in Abschnitt 7 beruhen auf dieser Ausfallanalyse. In diesen Szenarien werden die massgebenden Störfälle daraufhin untersucht, ob durch die Energiefreisetzung die Heisswasserkessel ganz oder teilweise zerstört werden. Die Heizkesselzerstörung oder massive Beschädigung der Druck-beaufschlagten Teile der Heisswasserleitungen resp. Kessel wird als grösster anzunehmender Unfall (GAU) angenommen.

6.2 FEHLERBAUM

Die in der Ausfallanalyse massgebenden Störfälle, die dem GAU entsprechen, werden mit einer Fehlerbaumanalyse auf die Eintretenswahrscheinlichkeit hin überprüft. Die Signifikanz der vorhandenen Sicherheitsvorkehrungen lassen sich mit dieser Methode leicht darstellen und es kann überprüft werden, ob das System den Sicherheitsanforderungen genügt.

7 STÖRFALLSZENARIEN ERMITTELT MIT AUSFALLANALYSE UND ENERGIEFREISETZUNG

Verschiedene Störfälle können mit Störfallszenarien theoretisch inszeniert werden (Ausfallanalyse). Entsprechend den Kapiteln 2.2.1, Seite 7, und 2.2.2, Seite 8, kann ein Risiko der Heisswasserkessel unabhängig von Auswirkungen von Aussen ausgeschlossen werden. Die Heisswasserkessel müssen jedoch in Verbindung mit Gasexplosionen im Kellerraum als ein Risikopotential betrachtet werden. Die Suche nach Risiken im Heizwerk Bahnhof konzentriert sich deshalb auf Störfälle, die genügend Energie freisetzen, um die Heizkessel so zu beschädigen, dass das Heisswasser (170° C, 17-20 bar) austreten und durch das augenblickliche Verdampfen zu einem umfassenden Schaden führen kann.

Die untersuchten Szenarien einer Gasexplosion werden entwickelt anhand eines rein hypothetischen Gross-Störfalles, dem ein totales und gleichzeitiges Versagen aller Sicherheitsmassnahmen sowie simultanes menschliches Versagen zugrunde liegt. Dieser hypothetische Störfall dient dazu, die Wirkungen der einzelnen Sicherheitsmassnahmen zur Schadensbegrenzung darzustellen.

7.1 HYPOTHETISCHER GROSS-STÖRFALL

Dieser hypothetische Gross-Störfall, der auf gleichzeitigem Versagen aller Sicherheitsmassnahmen sowie menschlichem Versagen beruht, kann sich theoretisch nur im folgenden hypothetischen Szenarium ereignen (die Berechnung der freigesetzten Energie ist in Anhang III dargestellt):

Während des Vollbetriebes des Heizwerkes (Schnellschlussventil offen) wird in einer Messstation eine Gaszuleitung getrennt, ohne zuvor weder den Schnellschluss noch die Zuleitung zur Messstation geschlossen zu haben; die Gasdetektoren sind ebenfalls ausgeschaltet. Unter diesen Umständen muss nun die verschraubte Flanschverbindung geöffnet werden ohne dass das Entweichen des Gases bemerkt würde. Das ausströmende Gas verteilt sich im Keller und durchmischt sich entlang der Kellerdecke mit Luft. In dieser Situation kommt es nun zur Zündung des Gasgemisches. Von der Verteilung des Erdgases in der Luft sowie unter Einbezug der Verdrängung der sauerstoffhaltigen Luft kann mit einer schnellen Verbrennung von rund 90 Nm³ Erdgas gerechnet werden. Der Druckanstieg im geschlossenen Kellerraum (kein Druckausgleich durch Treppenhaus) infolge der Temperaturerhöhung dürfte rund 3 bar betragen, was jedoch ausreichen würde, die Kellerdecke mit der darauf liegenden Nutzlast mehr als 10 Meter hoch abzuheben (Vergleiche Bild 7.1). Es kann davon ausgegangen werden, dass bei dieser Explosionsenergie und Anhebung der Kellerdecke auch die Heisswasserkessel zerstört werden sowie auch die Heisswasserleitungen, die in das Heizwerk hineinführen.

Das Ausmass dieses Störfalles ist unbestritten so gross, dass die Umgebung in das hypothetische Geschehen miteinbezogen würde. Dieser Störfall ist jedoch rein hypothetischer Natur und dient lediglich dazu, darzustellen, was unter keinen Umständen passieren darf. Dieser hypothetische Störfall mit diesem Ausmass ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich:

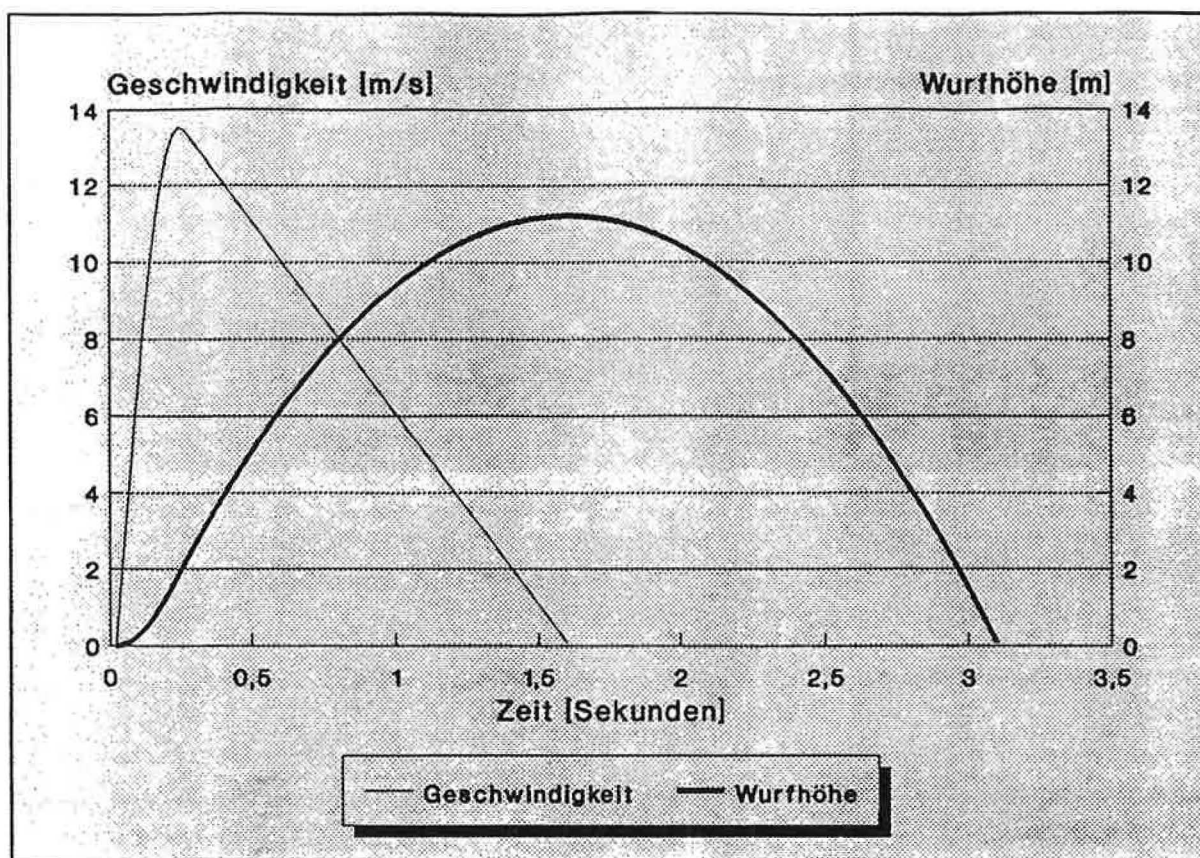


Bild 7.1 Wurfhöhe und Geschwindigkeit der Trümmer infolge einer hypothetischen Gasexplosion von 90 m³ Erdgas im Keller des Heizwerkes.

- Geflanschte sowie geschweisste Rohrverbindungen können nicht vollständig und innerhalb kurzer Zeit getrennt werden (Duktilität der Rohre). Ein unkontrolliertes und ungehindertes Ausströmen von Erdgas ist nicht möglich.
- Wartungs- und Reparaturarbeiten, wo eventuell Rohre zu zerlegen sind, werden nur bei abgeschaltetem Heizwerk durchgeführt, wobei das Hauptgasventil sowie die anderen Zuleitungsventile geschlossen sind.
- Beim Öffnen einer Leitung bei Wartungsarbeiten wird ein Entweichen von Erdgas sofort wegen der zusätzlichen Odorierung festgestellt.
- Die Gasdetektoren können nicht vom Wartungspersonal überbrückt werden.
- Ein Bruch der Gasleitungen unter Erdbebeneinwirkung innerhalb des Kellers ist unwahrscheinlich, zumal das Gebäude mit einer grösseren Erdbefestigkeit erstellt worden ist als üblich. Gleichzeitig mit der Beschädigung durch ein Erdbeben ist auch mit einem Stromausfall zu rechnen, sodass das Hauptgasventil sofort aktiviert würde.
- Ein hypothetisch möglicher Riss in der Erdgasleitung würde, verbunden mit den Diffusionseigenschaften von Methan und dem relativ hohen UEG, höchstens zu einer Zündung einer begrenzten Gasmenge im Bereiche von maximal 10 Nm³ führen. Diese Energiemenge wird jedoch keine Zerstörung der Kellerdecke mit nachfolgendem Einsturz und grosser Beschädigung der Heisswasserkessel nach sich ziehen.

Die nachfolgenden Störfallszenarien entsprechen den möglichen Fällen.

7.2 ERDGASAustrITT IN MESSSTATION

Ein Erdgasaustritt in einer der fünf Messstationen ist unter der Annahme möglich, dass eine Dichtung in den geflanschten Rohrverbindungen nicht mehr satt anliegt. Jede Messstation ist mit zwei Gasdetektoren ausgerüstet, die unabhängig von einander beim Erreichen einer Erdgaskonzentration von 20% UEG (1 Vol%) einen Voralarm und bei 40% UEG (2 Vol%) Alarm auslösen. Bei der Alarmauslösung wird gleichzeitig auch das Hauptgasventil geschlossen. Eine Undichtheit der Rohrverbindung ist ein Vorgang, der nicht plötzlich sondern zeitlich langsam fortschreitet: Zuerst ist es eine kleine Undichtheit, die dann über Tage hinweg grösser werden kann und eventuell bis zu 25 Liter pro Minute ($\approx 1,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$) erreichen wird. Bei diesem Störfall werden verschiedene Szenarien mit diversen Ausfällen von Sicherheitsmassnahmen untersucht. Dabei soll untersucht werden, ob bei diesen verschiedenen Szenarien Auswirkungen auftreten können, welche die Heisswasserkessel im Kesselhaus beschädigen können. Es werden mehrere Störfälle untersucht, wo verschiedene Kombinationen von Ausfällen mit einander verglichen werden. Ebenso miteinbezogen ist, ob das Leck langsam oder schnell auftritt. Es muss festgehalten werden, dass langsam auftretende Lecks, die viel eher den realistischen Umständen entsprechen als spontane, eine bedeutend geringere Tragweite haben. Deshalb werden in den folgenden Szenarien spontane Lecks durchgerechnet.

7.2.1 Ausfall eines Detektors und Hauptgasventil

In diesem Störfallszenarium wird davon ausgegangen, dass durch ein plötzliches Gasleck bei einer Flanschverbindung 50 Liter Erdgas pro Minute austreten. Das Szenarium zu diesem Störfall ist das folgende:

50 Liter pro Minute Erdgas strömen aus einer defekten Flanschverbindung im hinteren Teil der Messstation. Der hintere Gasdetektor versagt, ebenso das Hauptgasventil bei einer möglichen Alarmierung beim Erreichen der Erdgaskonzentration von 40% UEG. Der Alarm wird, sobald der vordere Detektor die entsprechende Gasmengemisst, an die Zentrale an der Voltastrasse weitergeleitet. Der Abschätzung der Auswirkungen dieses Störfalles liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Raumvolumen Messstation: 40 m^3
- Luftwechsel: $1,0 \text{ pro h}$
- Leckgasmenge $3,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Trotz der Raumbelüftung wird sich das austretende Erdgas der Deckenoberfläche der Messstation entlang ausbreiten, da die Turbulenz der Belüftung (passiv) nicht ausreicht, das Erdgas vollständig mit der Luft zu durchmischen. Innerhalb 30 Minuten dürfte die Gaswolke den vorderen Detektoren erreicht haben und dort einen Voralarm (20% UEG) auslösen; spätestens 10 Minuten später wird der Alarm (40% UEG) ausgelöst. Entsprechend dem Sicherheits- und Alarmplan sollte das Hauptgasventil geschlossen werden, was in diesem Szenarium nicht geschieht. Dadurch bleibt der Druck in der Zuleitung erhalten und das Gas entweicht weiter mit 50 Liter pro Minute. Bis der Pikett-Dienst am Ort eintrifft (max 35 min.) und das Hauptgasventil an Ort schliesst, sind total $3,75 \text{ Nm}^3$ Erdgas entwichen. Bei der Entzündung dieser Erdgasmenge resultiert im Keller eine Druckzunahme von 0,11 bar, was einer nach aufwärts gerichteten Kraft von $1,1 \text{ m kg s}^{-2}$ entspricht [6]. Lokal können auch etwas höhere Drücke entstehen, die aber durch das Fehlen einer vorderen Abschlusswand schnell abgebaut werden und zu einer leichten Druckerhöhung im gesamten Kellerraum führen. Unter Berücksichtigung des Gewichtes der Kellerdecke wird diese Kraft eine nach oben gerichtete Beschleunigung von $3,34 \text{ m s}^{-2}$ bewirken. Diese Beschleunigung ist jedoch kleiner als die Gravitationsbeschleunigung. Es kann deshalb gefolgert werden, dass eine solche Ex-

plosion von $3,75 \text{ Nm}^3$ Erdgas die Decke nicht zum Einsturz bringen und die Heisswasserkessel nicht beschädigen wird. Die Berechnungen zu diesem Störfall sind in Anhang III dargestellt.

In diesem Störfallszenarium, wo gleichzeitig ein Detektor und der Schnellschluss des Hauptgasventiles ausfällt kann es zu einer Gasexplosion kommen, bei der $3,75 \text{ Nm}^3$ Erdgas verbrennen. Eine Explosion dieser Grössenordnung wird aber nicht die Kellerdecke anheben und damit auch nicht die Anlage zerstören oder den unter Druck stehenden Teil der Heisswasserkessel beschädigen. Die Auswirkungen dieses Störfalles werden auf das Gebäude begrenzt sein.

7.2.2 Ausfall eines Gasdetektors

In diesem Störfallszenarium wird davon ausgegangen, dass durch ein Gasleck in einer Flanschverbindung 50 Liter Erdgas pro Minute austreten. Das Szenarium zu diesem Störfall ist das folgende:

50 Liter pro Minute Erdgas strömen aus einer defekten Flanschverbindung im hinteren Teil der Messstation. Der hintere Gasdetektor versagt. Der Alarm wird, sobald der vordere Detektor die entsprechende Gasmengemisst, an die Zentrale an der Voltastrasse weitergeleitet. Der Abschätzung der Auswirkungen dieses Störfalles liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Raumvolumen Messstation: 40 m^3
- Luftwechsel: $1,0 \text{ pro h}$
- Leckgasmenge $3,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Trotz der Raumbelüftung wird sich das austretende Erdgas der Deckenoberfläche der Messstation entlang ausbreiten, da die Turbulenz der Belüftung (passiv) nicht reicht, das Erdgas vollständig mit der Luft zu durchmischen. Innerhalb 30 Minuten dürfte die Gaswolke den vorderen Detektor erreicht haben und dort einen Voralarm (20% UEG) auslösen; spätestens 10 Minuten später wird der Alarm (40% UEG) ausgelöst. Der Schnellschluss des Hauptgasventiles unterbricht die Gaszuleitung und der Druck in der Verteilerleitung fällt sehr schnell wegen den noch offenen Brennern ab. Das Heizwerk wird abgestellt. Spätestens nach einer Minute versiegt das Erdgasleck. Bis jetzt sind rund 2 Nm^3 Erdgas ausgetreten. Eine Verpuffung dieser Erdgasmenge würde einen Druckanstieg von ca. $0,05 \text{ bar}$ verursachen, was einer aufwärtsgerichteten Beschleunigung von $1,77 \text{ m s}^{-2}$ entspricht.

In einem Störfall wie in diesem Szenarium ist nicht mit einer Beschädigung der Heisswasserkessel zu rechnen. Falls der Druckanstieg durch das Treppenhaus abgeleitet werden kann, sind bei der Verpuffung keine nennenswerten Schäden an der Gebäudeausrüstung zu erwarten.

7.3 STÖRFALL WÄHREND UNTERHALTSARBEITEN IN DER MESSSTATION

Dieses Störfallszenarium basiert auf unsachgemässer Durchführung von Unterhaltsarbeiten mit Rohrverbindungen in der Messstation.

Während Reparaturarbeiten in einer Messstation wird eine Leitung, die noch unter Druck steht, geöffnet. Die Zuleitung zur Hauptleitung ist geschlossen. Aus der geöffneten Leitung entweichen maximal 3 Nm^3 Erdgas, die zur Zündung gelangen können. Bei der Entzündung dieser Erdgasmenge resultiert im Keller eine Druckzunahme von $0,11 \text{ bar}$, was einer nach aufwärts gerichteten Kraft von $1,1 \text{ m kg s}^{-2}$ entspricht. Lokal können auch etwas höhere Drücke entstehen, die aber durch das Fehlen einer vorderen Abschlusswand schnell abgebaut werden und zu einer geringen Druckerhöhung im

gesamten Kellerraum führen. Unter Berücksichtigung des Gewichtes der Kellerdecke wird diese Kraft eine nach oben gerichtete Beschleunigung von $2,67 \text{ m s}^{-2}$ bewirken. Diese Beschleunigung ist jedoch kleiner als die Gravitationsbeschleunigung. Es kann deshalb gefolgert werden, dass eine solche Explosion von 3 Nm^3 Erdgas die Decke nicht zum Einsturz bringen und die Heisswasserkessel nicht beschädigen wird. Die Berechnungen zu diesem Störfall sind in Anhang III dargestellt.

Dieser Störfall ist prinzipiell auszuschliessen, da solche Reparaturarbeiten nur bei abgeschaltetem Heizwerk vorgenommen werden sollen. Falls solche Arbeiten mit einem solchen Gasaustritt vorgenommen werden, werden verschiedene Sicherheitsvorschriften gleichzeitig verletzt.

7.4 STÖRFALL MIT PROPANGASFLASCHEN IM KESSELHAUS

Dieses Störfallszenarium basiert auf der unsachgemässen Anwendung der Propangasflaschen, die als Zündgasbehälter benutzt werden, beim Zünden der Brenner. Es kann davon ausgegangen werden, dass alle Propangasbehälter mit einem Druckreduktionsventil ausgerüstet sind, die den Druck vom Flaschendruck auf 0,05 bar (50 mbar) vermindern. Zusätzlich sind alle Flaschen mit einer Gebrauchsanweisung versehen, die darauf hinweist, dass das Ventil der Flaschen nach dem Gebrauch geschlossen werden müssen.

Ein Brenner wird mit Propangas gezündet. Dazu wird das Regelventil der Propangasflasche manuell geöffnet. Nach dem Gebrauch des Gases wird vergessen, die Flasche gemäss den Anweisungen wieder zu schliessen. An einer undichten Stelle im Schlauch fliesst Propangas aus einer Öffnung, die einem Ersatzdurchmesser von 1,5 mm entspricht. Dadurch fliessen pro Stunde ca. 500 Liter Propangas aus. Da das Gasschwerer als Luft ist, wird es sich am Boden des Kesselhauses ansammeln und dort ausbreiten. Ein unbestimmter Teil, der überschlagsmässig mit 30% angesetzt werden kann, wird mit der Raumentlüftung abgeführt, sodass sich rund 350 l/h am Boden in der näheren Umgebung (Radius 10 m, ca. 300 m^2) ausbreiten werden. Die Vermischungsschicht dürfte mit 0,8 m Höhe angesetzt werden. Somit verteilt sich das ausgelaufene Gas in ein Volumen von 240 m^3 . Nach drei Stunden wird die mittlere Gaskonzentration 0,45 Vol% erreicht haben, was 20% des unteren Explosionsgrenzwertes gleichkommt; in der nächsten Umgebung des Lecks kann der UEG jedoch bereits überschritten sein. Ein weiteres Auslaufen ist während total 4,5 Stunden möglich (Flasche drei-viertel voll). Somit werden sich ca. $3,1 \text{ m}^3$ Propangas am Boden ansammeln, während der Rest mit der Raumentlüftung abgeführt worden ist. Unter der Voraussetzung, dass sich das Ansammlungsgebiet nicht vergrössert, wird nach Auslaufen der Flasche eine Propangaskonzentration von 1,3 Vol% (60% UEG) erreicht.

Die Abschätzung dieser Gaskonzentrationen beruht auf einer stagnierenden bis leicht bewegten Luft, die nicht vermag, das schwerere Propangasgemisch zu bewegen. Durch die Kesselhauslüftung, speziell währen des Betriebes des Heizwerkes wird die Luft bedeutend stärker bewegt sein, sodass die geschätzten Gasmengen eher überschätzt als unterschätzt sind. Es kann angenommen werden, dass die gefährlichen Gaskonzentrationen innerhalb von 12 bis 18 Stunden durch die Lüftung soweit abgebaut sind, dass der UEG an keiner Stelle überschritten ist und im Durchschnitt weniger als 20% des UEG beträgt.

Sollte es aber in der kritischen Zeit von 3 bis 4 Stunden nach Auftreten des Lecks zu einer Zündung des Gasgemisches kommen, werden maximal $1,5 \text{ Nm}^3$ Propangas zur Explosion kommen. Unter Berücksichtigung der Hallengrösse kann angenommen werden, dass diese Explosion nicht durch den Raum behindert wird und demnach im Bereiche der Explosion die für Propanexplosionen typischen Druckwellenwerte von maximal 5 bar erreichen wird. Diese Explosionswelle wird vorallem in Bodennähe aktiv

sein und die Heisswasserkessel-Verschaltungen und -Isolationen beschädigen. Ausserhalb der Explosionszone wird sich die Druckwelle rasch abbauen und dürfte wegen der verhältnismässig kleinen Energie die Kessel selbst sowie die Vor- und Rücklaufleitungen kaum beschädigen. Beschädigt werden jedoch das Isolationsmaterial und die Verschaltungen. Am Gebäude werden sicher auch die Fenster ramponiert. Die Berechnungsgrundlagen sind in Anhang III dargestellt.

Die Propanflaschen mit dem Zündgas stellen ein minimales Betriebsrisiko dar. Das Betriebsrisiko dieser Installationen gefährdet jedoch die Struktur der Heisswasserkessel nicht und wird somit keine Auswirkungen über die Grundstücksgrenze haben. Diese Propangasinstallationen werden von Privaten vielfach in Küchen angewendet, wo sie wegen der kleinen Raumgrösse ein bedeutend grösseres Risiko als im Heizwerk Bahnhof darstellen.

7.5 BRAND VON HEIZÖL EL

In diesen Störfallszenarien wird angenommen, dass grössere Mengen Heizöl EL in Brand geraten.

7.5.1 Brand des Heizöls im Ölabscheider

Heizöl EL im Ölabscheider, das entweder durch ein Leck in einer Ölleitung oder durch Verschütten beim Auffüllen der Tankanlagen in den Ölabscheider gelangt, wird entzündet. Der Ölabscheider befindet sich in einem abgetrennten Raum mit einem Zugang durch eine Brandschutztüre. Wegen des geringen Dampfdruckes von Heizöl EL können im Ölabscheider-Raum jedoch keine explosiven Dämpfe entstehen. Dementsprechend muss bei diesem Störfall-Szenarium extrem grobfahrlässiges Verhalten vorausgesetzt werden.

Bei Unterhaltsarbeiten (z.B. Schweissarbeiten) im Ölabscheider-Raum wird das im Abscheider liegende Öl entzündet. Dabei sind verschiedenen Vorschriften ignoriert und Vorsichtsmassnahmen unterlassen worden.

- Obwohl die Sensoren das Vorhandensein von Öl im Ölabscheider angezeigt haben (sowohl in der Steuerzentrale an der Voltastrasse als auch im Heizwerk Bahnhof) wurde unterlassen, das Öl vor Beginn der Arbeiten auszupumpen.
- Obwohl das Betriebspersonal noch vor Beginn der Arbeiten gesehen hat, dass sich Öl im Abscheider befindet, ist mit den Arbeiten begonnen worden.

Das Ausmass des Brandes wird auf den Abscheider-Raum und eventuell den Keller begrenzt sein, da im letzteren keine Stoffe gelagert werden, die das Feuer weiter nähren könnten. Ein Übergreifen des Brandes auf das Tanklager kann ausgeschlossen werden, da das Tanklager vom Ölabscheider-Raum durch eine armierte Betonmauer getrennt ist.

Die Wahrscheinlichkeit für ein Brand im Ölabscheider-Raum ist als äusserst gering einzustufen. Durch die Brandmelder im Ölabscheider-Raum sowie im Keller wird über das Alarmsystem das Erdgas-Hauptventil geschlossen und das Heizwerk, falls es überhaupt in Betrieb ist, abgeschaltet. Ein Öl-Brand im Heizwerk wird abgesehen von der Entwicklung von Rauchgasen keine Auswirkungen auf die Umgebung haben.

7.5.2 Brand im Heizöl-Tanklager

Ein Brand im Heizöl-Tanklager ist nicht mit absoluter Sicherheit auszuschliessen. Das Tanklager, das unterirdisch in einem separaten und vom Heizwerk getrennten Keller untergebracht ist, ist mit Brandmelder gesichert. Ein Brand im geschlossenen Tankkeller wird wegen mangelnder Luftzufuhr (Brandschutztüre, einfach geführte Entlüftungsleitung der Tanks) zu klein sein, damit sich ein Vollbrand entwickeln könnte. Die Auswirkungen dieses begrenzten Brandes werden für die Umgebung gering sein.

8 STÖRFALL-BEWERTUNG MIT FEHLERBAUM-ANALYSE

In der Ausfallanalyse werden die Störfälle mit einem Gasaustritt im Keller wegen der potentiellen Gefahr weiter untersucht, da durch eine Gasexplosion möglicherweise die Kellerdecke abgehoben und damit die unter Druck stehenden Heisswasserkessel beschädigt werden können. Mit der Fehlerbaum-Analyse wird ermittelt, ob die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen im Falle eines Ereignisses einer undichten Rohrverbindung das Austreten einer grösseren Gasmenge, die zu einem Gross-Störfall führen könnte, verhindern vermögen. Die Analyse unterscheidet dabei zwischen einem Gasaustritt bei Unterhaltsarbeiten und während des Normalbetriebes.

8.1 GASAUSTRITT WÄHREND UNTERHALTSARBEITEN

Kritische Gasmengen können während Unterhaltsarbeiten nur unter der Voraussetzung entstehen, dass die Verteilleitung beim Öffnen unter Druck steht und dass die Kontrollventile sowie das Schnellschluss- und Hauptventil offen sind. Dieses Zusammenfallen ist nur möglich, wenn die Arbeiten nicht vorschriftsgemäss durchgeführt werden. Solche Arbeiten werden nur von der Hauptabteilung G/IWB durchgeführt (siehe Anhang V, Seite 50). Die Heisswasserkessel sind dabei in der Regel kalt und somit nicht unter Druck.

8.2 GASAUSTRITT WÄHREND DES NORMALBETRIEBES

Die Analyse für einen Gasaustritt während des Betriebes ist in folgende drei Stufen unterteilt:

- Untersuchung der Voraussetzung, dass eine Rohrverbindungen undicht ist,
- Untersuchung der Voraussetzung, dass das Sensorensystem beim Betrieb der Anlage ausgefallen ist und einen Gasaustritt nicht richtig registriert oder weitermeldet,
- Untersuchung der Möglichkeit, dass beim Betrieb der Anlage eine Rohrverbindung undicht ist und eine grössere Menge Erdgas - trotz richtigem Funktionieren der Sensoren - unerkannt austreten kann.

Bei der Untersuchung der Entstehung undichter Rohrverbindungen kann von zwei grundsätzlich verschiedenen Ursachen ausgegangen werden:

- Entstehung undichter Rohrverbindung beim Normalbetrieb (ohne äussere, antropogene Einwirkung)

- Vorhandensein von undichten Rohrverbindungen, die während Unterhaltsarbeiten durch fehlerhafte Manipulation oder Materialfehler verursacht worden sind.

Bei diesen undichten Stellen bei den Rohrverbindungen muss davon ausgegangen werden, dass es sich dabei immer um Dichtungsprobleme bei geflanschten Rohrverbindungen oder Druckreduktionsventilen handelt, wo das Erdgas zuerst in kleinsten Mengen und während Tagen oder Wochen zunehmend in Umgebung gelangt. Ein plötzlicher und grosser Gasaustritt kann im Allgemeinen ausgeschlossen werden. Ebenso wird die Möglichkeit eines plötzlichen Bruchs einer geschweissten Hauptleitung als äusserst unwahrscheinlich angenommen.

8.2.1 Entstehen eines Gasaustrittes bei Normalbetrieb

Im Normalbetrieb basiert ein Gasaustritt auf einem spontanen Versagen einer Rohrverbindung entweder in der Messstation oder in den Verteilstationen. Ursachen für ein Versagen der Verbindungen sind gleichzeitig gelöste Flanschverbindungen und verschobene Dichtungen. Solche Schäden sind jedoch ohne äussere Einwirkungen - z.B. Erdbeben, aussergewöhnliche Vibrationen der Anlage - nicht zu erwarten.

8.2.2 Entstehen eines Gasaustrittes bei Normalbetrieb infolge von fehlerhaften Montagearbeiten

Ein Gasaustritt während des Normalbetriebes infolge von fehlerhaftem Material oder mangelhaften Arbeiten ist nicht ausgeschlossen. Dabei handelt es sich um relativ kleine Undichtheiten, die sich mit der Zeit vergrössern können. Diese Arbeiten werden gemäss der Weisung für Kontrollen und Unterhalt (Anhang V, Seite 50) durch die Hauptabteilung G/IWB durchgeführt und protokolliert. Diese Fehler sind nur bei mangelhafter Inspektion und Überwachung während Montagearbeiten möglich und werden spätestens beim Druckversuch vor der Inbetriebnahme festgestellt.

Diese Mängel können nur bei gleichzeitiger Montage von fehlerhaftem Material oder mangelhafter Arbeit und gleichzeitig fehlender Inspektion auftreten. Bei Einhaltung der entsprechenden Vorschriften und der Durchführung eines Druckversuches vor Inbetriebnahme ist die Wahrscheinlichkeit eines solchen Gasaustrittes als äusserst gering einzustufen.

8.3 AUSFALL DES GASSENSORENSYSTEMES

8.3.1 Ausfall der Sensoren

Der Teilweise oder ganze Ausfall des Sensorensystems basiert auf verschiedenen Annahmen (siehe auch Abschnitt 5.1.6.4, Seite 19):

- Die Sensoren sind entweder zum Teil abgedeckt, vergiftet (betrifft nur die alten Filamentsensoren) oder wegen Zuleitungsdefekt nicht betriebsbereit, wobei lokale Leitungsdefekte vom Sensorensystem selbständig "entdeckt" werden.

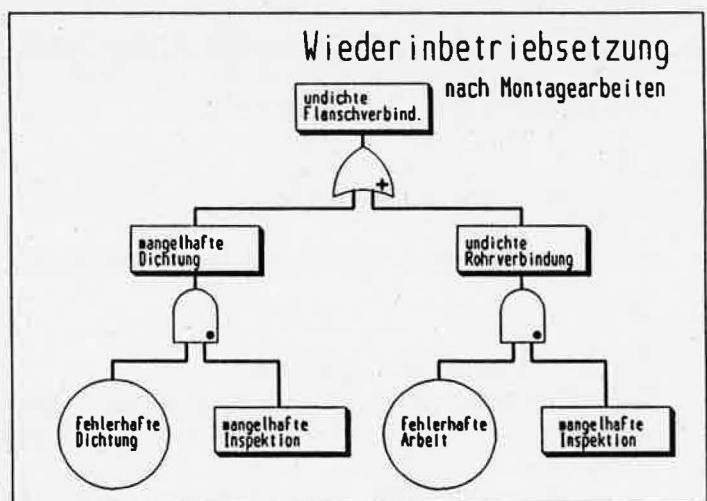
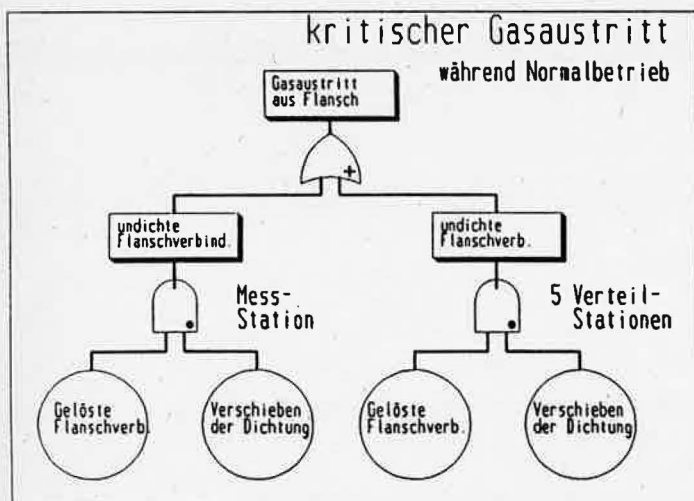
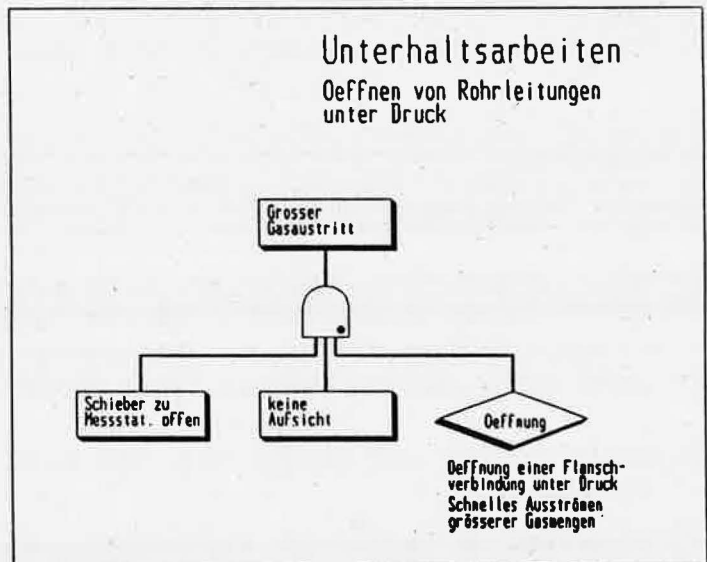
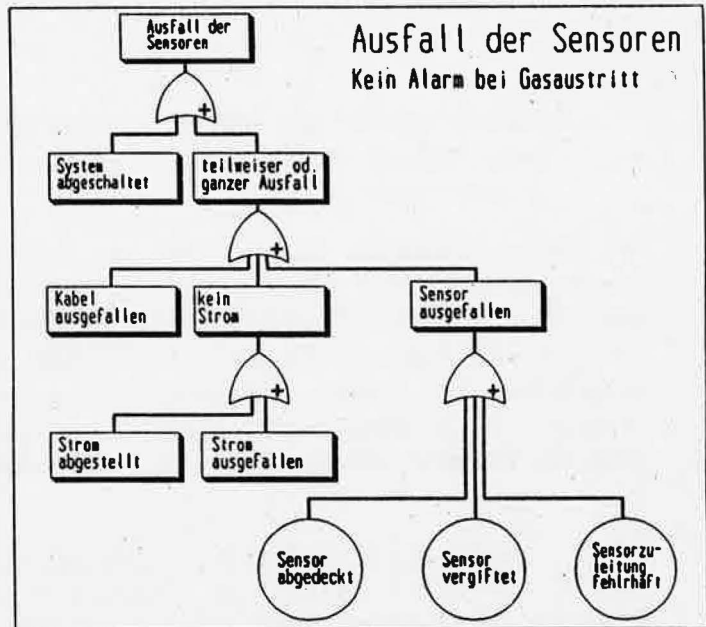
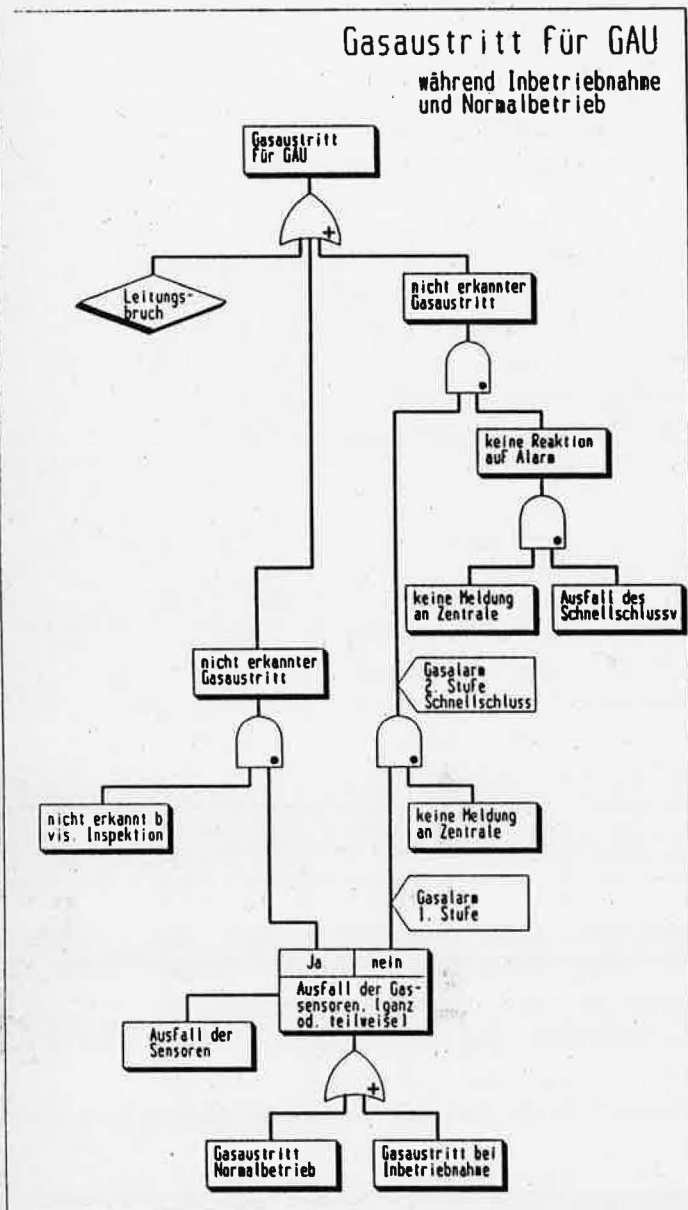


Bild 8.1

Darstellung des Fehlerbaumes zur Abschätzung der Möglichkeit eines grossen Gasaustrittes. Der Fehlerbaum wird von unten nach oben gelesen (siehe Symbole im Anhang V, Seite 47).

- Das ganze kann System wegen Abschaltung der Stromversorgung nicht aktiviert werden.
- Das Verbindungskabel vom Heizwerk zur zentralen Leitstation ist teilweise unterbrochen.
- Das Sensorensystem ist ausgeschaltet.

8.4 STÖRFALLBETRACHTUNG MIT FEHLERBAUM

Basierend auf den oben dargestellten Betrachtungen über mögliche Gasaustritte bei der Wiederinbetriebnahme oder Normalbetrieb ist mit der Fehlerbaumanalyse untersucht worden, welche Sicherheitsmassnahmen versagen müssten, damit eine Gasexplosion im Keller entstehen kann, die zu einem Gross-Störfall mit gleichzeitiger Zerstörung eines Heisswasserkessels führen könnte (GAU). Dabei werden zwei mögliche Wege untersucht:

- ohne Ausfall der Gassensoren
- mit Ausfall der Gassensoren

Die Kriterien für den Ausfall der Gassensoren sind im obigen Abschnitt 8.3.1 dargestellt worden.

Als zusätzliche Möglichkeit für ein kritischer Gasaustritt ist ein Rohrbruch der geschweissten Leitungen angenommen worden, der aber nach der Feststellung der Leitungs-Bruchsicherheit durch den TISG (siehe Abschnitt 2.2.2.2, Seite 9) nicht weiter untersucht worden ist.

8.4.1 Gasaustritt für GAU ohne Ausfall der Gassensoren

Die Entwicklung eines Gasaustrittes, der zu einer Grosskatastrophe führen würde, ist beim vollen Funktionieren der Gassensoren nur unter der folgenden Annahme möglich:

1. In einer Verteilstation tritt aus einer undichten Flanschverbindung Erdgas aus; das ausströmende Erdgas wird von den Detektoren registriert (20% UEG, siehe Abschnitt 5.1.3, Seite 17) und der erste Gasalarm wird automatisch ausgelöst.

Voraussetzung für GAU

Trotz Gasalarm 1. Stufe wird der Alarm in der Zentrale oder im Heizwerk nicht registriert und das austretende Gas sammelt sich weiter an.

Funktionieren des Sicherheitssystems

Der Gasaustritt wird sofort an Ort beurteilt und notwendige Massnahmen werden vorgenommen um den Gasaustritt zu unterbinden.

2. Das Sensorensystem registriert eine Gaskonzentration von 40% UEG und löst den zweiten Gasalarm aus (siehe Abschnitt 5.1.3, Seite 17). Mit der Auslösung verbunden wird das Schnellschlussventil automatisch geschlossen (siehe Abschnitt 5.1.4, Seite 18). Damit wird der

Überdruck in den Leitungen sofort reduziert und ein weiteres Aus-treten von Erdgas vermindert.

Voraussetzung für GAU

Es erfolgt weder eine Mel-dung an die Zentrale noch wird der Alarm im Heizwerk registriert. Zusätzlich versagt das Schnellschlussventil und die Leitungen werden weiter mit Erdgas versorgt.

Funktionieren des Sicherheitssystems

Das Schnellschlussventil wird automatisch geschlossen und der Druck in den Leitungen verrin-gert sich unmittelbar. Dadurch wird die Explosionsgefahr ver-ringert.

Sofortmassnahmen werden einge-leitet um die Explosionsgefahr weiter zu verringern. Ebenso wird festgestellt, dass das Schnellschlussventil richtig ge-schlossen ist.

3. Nachdem die verschieden^m Sicherheitsmassnahmen versagt haben, ist die Voraussetzung für einen GAU gegeben.

In diesem Fehlersystem müssen für einen Gross-Störfall die folgenden Vorausset-zungen **gleichzeitig** erfüllt sein:

- undichte Rohrverbindung,
- keine Weiterleitung oder Reaktion bei Auslösung des Gasalarmes 1. Stufe,
- Keine Weiterleitung oder Reaktion bei Auslösung des Gasalarmes 2. Stufe **und** gleichzeitiges Versagen des Schnellschlussventils.

8.4.2 Gasaustritt für GAU und gleichzeitiger Ausfall der Sensoren

Unter der Voraussetzung, dass gleichzeitig sowohl eine Rohrverbindung sowie das Sensorensystem (ohne Rückmeldung an die Zentrale) ausgefallen oder ausgeschaltet ist, kann ein unregistrierter Gasaustritt entstehen, der in der Folge zu einem GAU führen könnte. Ein solcher Unfall kann durch die Einhaltung der Inspektionspflicht des Pikettdienstes (siehe Abschnitt 4.1, Seite 14) bemerkt werden. Durch die täglichen Inspektionen werden Gasaustritte, die sich bei Flanschverbindungen lang-sam vergrössern, festgestellt.

In diesem Fehlersystem müssen für einen Gross-Störfall die folgenden Vorausset-zungen **gleichzeitig** erfüllt sein:

- undichte Rohrverbindung,
- keine weisungsgemäss durchgeführte Inspektion durch den Pikettdienst.

8.5 SCHLUSSFOLGERUNG AUS FEHLERBAUMANALYSE

Mit der Fehlerbaumanalyse ist es möglich, die wichtigsten Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit sowie den *"kritischen Pfad"* festzulegen.

Es sind zwei verschiedene, sicherheitsrelevante Punkte zur Vermeidung eines GAU gefunden worden:

- Inspektion und Druckversuch nach Montagearbeiten (Durchzuführen von der Abteilung G).
- Tägliche Inspektion des Heizkraftwerkes durch den Pikettdienstes gemäss Weisung.

Es ist festgestellt worden, dass vor allem fehlerhafte Montagearbeiten und mangelhafte Inspektion zum *"kritischen Pfad"* in der Entstehung eines GAU führen.

9 ABSCHÄTZUNG DER EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT

Es entspricht der Praxis, dass das Ausmass der möglichen Störfälle mit der Wahrscheinlichkeit verknüpft wird, dass diese Ereignisse eintreten. Dabei ist aber zu beachten, dass diese Wahrscheinlichkeit in der Risikobewertung einen kleinen Stellenwert besitzt. Diese Eintretenswahrscheinlichkeiten sind rein statistischer Natur und beziehen sich nur auf eine grosse Anzahl gleicher Objekte. Es muss in der Risikobetrachtung davon ausgegangen werden, dass jedes realistische Risiko soweit wie möglich reduziert wird.

9.1 WAHRSCHEINLICHKEIT, DASS SCHUTZMASSNAHMEN TECHNISCH BEDINGT VERSAGEN

Die Ermittlung der Eintretenswahrscheinlichkeit, dass verschiedene Schutzmassnahmen versagen, bereitet einige Schwierigkeiten. Obwohl schon viele gleichartige Systeme erstellt worden sind, lässt sich die Betriebssicherheit mangels Ausfällen nicht leicht in statistische Grössen fassen.

9.1.1 Heisswasserkessel und Brenneranlagen

Entsprechend der Schaden-Statistik der Heisswasserkessel des SVDB (siehe auch Tabelle 2.3, Seite 7) sind für Heisswasserkessel auf rund 100 kumulierte Betriebsjahre mit einer Reparatur und Meldung an den SVDB zu rechnen. Diese Schäden sind jedoch nicht als Umweltrisiko zu betrachten. Innerhalb von beobachteten 8'000 kumulierten Betriebsjahren wurde ein Schadenfall registriert, wo die Kesselisolationen stark beschädigt wurden. Ein Freisetzen von Heisswasser, das grössere Auswirkungen über die Grundstücksgrenzen gehabt hätte, ist nicht bekannt. Die beschränkten statistischen Daten erlauben keine genauen Abschätzungen der Eintretenswahrscheinlichkeit eines grossen Störfalles, doch dürfte sie kleiner sein als 10^{-4} bis 10^{-5} /Jahr.

9.1.2 Gasleitungssystem

Der TISG schliesst ein Gefahrenpotential im technischen Bereich der Gasleitungen aus (siehe Kapitel 2.2.2.2, Seite 9).

9.1.3 Gasdetektoren

Die zur Zeit verwendeten Gasdetektoren mit einem unverstärkten Ausgangssignal haben eine durchschnittliche Standzeit von fünf Jahren. Bei jeder Revision wird die Signalstärke der einzelnen Detektoren gemessen. Falls das Signal unter dem festgelegten Grenzwert liegt, werden die Sensoren ausgewechselt. Die Ausfallquote der Sensoren ist sehr klein. Bis jetzt sind in den Heizwerken weder Sensoren ausgefallen, noch sind Auswechslungen wegen "Vergiftung" notwendig gewesen.

9.1.4 Sicherheit der Propangasflaschen

Die Sicherheit der Propangasflaschen (12 kg) ist sehr gross. Die Unfall-Häufigkeit ist bezogen auf die vielen Einheiten, die in Haushalt und Gewerbe benutzt werden, äusserst gering. Unter Voraussetzung, dass das Propangas sach- und vorschriftsgemäss eingesetzt wird, kann ein Risiko ausgeschlossen werden.

9.1.5 Technisches Risiko der Gesamtanlage

Entsprechend obigen Darstellungen und Kapitel 2.2.2.1, Seite 9, wird von TISG die Eintretenswahrscheinlichkeit mit $2 \cdot 10^{-6}$ /Jahr bezeichnet. Dieser Wert liegt deutlich unter demjenigen der Prozesse in der chemischen oder Maschinenindustrie. Leider sind solche Berechnungen in der Vergangenheit sehr selten durchgeführt worden, sodass eine über längere Zeit geführte Statistik nicht vorliegt.

9.2 BRAND VON HEIZÖL EL

Die Wahrscheinlichkeit, dass Heizöl EL in Brand gerät, ist nicht zuletzt wegen des geringen Dampfdruckes von Heizöl als sehr klein zu betrachten. Unterirdische Heizöltanks werden vom BVD als kleine Brandrisiken eingestuft.

9.3 BEKANNTE STÖRFÄLLE IN DEN HEIZWERKEN DER IWB

Seit der Betriebsaufnahme des Heizwerkes Bahnhof 1982 haben sich abgesehen von normalen abnutzungsbedingten Reparaturen keine Störfälle ereignet. Im Fernwärmeteil - ohne Wärme-Kraft-Kopplung - sind im Fernheizkraftwerk Voltastrasse an den Erdgas- und Heizöl-befeuerten Anlagen auch keine grösseren Störungen bekannt.

10 DARSTELLUNG DER MASSGEBENDEN RISIKEN

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Heisswasserkessel nur im Zusammenhang mit einer Explosion von Erdgas im Keller oder Propangas im Kesselhaus schwerwiegend beschädigt werden können. Somit sind diese Explosionen als massgebende Risiken zu betrachten. Entsprechend den Berechnungen in Anhang III muss die minimale Erdgasmenge, die im Keller zur Explosion gelangt, mindestens 10 Nm^3 sein, damit die Decke überhaupt eine aufwärtsgerichtete Kraft erleidet. Diese Menge wird jedoch in keinem der relevanten und möglichen Störfallszenarien erreicht. Im grössten möglichen Störfall werden lediglich $3,75 \text{ Nm}^3$ Erdgas freigesetzt. Somit kann eine Beschädigung der Heisswasserkessel ausgeschlossen werden.

Bei der theoretisch möglichen Explosion des Propangases im Kesselhaus kann es jedoch zu einer Beschädigung der Verschalung sowie des Isoliermaterials kommen. Doch kann auch bei diesem Störfallszenarium eine Zerstörung des unter Druck stehenden Kesselteiles ausgeschlossen werden.

Die im Bericht zur Umweltverträglichkeit des Heizwerkes Bahnhof angenommenen $2,5 \text{ Nm}^3$ Erdgas, die zur Verpuffung gelangen können, werden in dieser Risikobetrachtung nicht widerlegt, da diese damals angenommene Erdgasmenge auf einem Störfallszenarium beruht, wo bei einem Leck in der Messstation alle Sicherheitsmassnahmen funktionieren.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Beim Bau der Anlage werden verschiedene Normen für die Sicherheit der Anlage mitberücksichtigt und auch erfüllt:

- Das Bauwerk ist nach SIA-Norm für Erdbeben der Intensitätsklasse VIII ausgelegt.
- Die Gasinstallationen sowie zusätzliche Sicherheitsmassnahmen sind nach Vorschriften SVGW sowie der Eidgenössischen Verordnung für Rohrleitungen ausgeführt.
- Die Heisswasserkessel sowie zusätzliche Sicherheitsmassnahmen sind vom SVDB bewilligt und werden von diesem kontrolliert.
- Die Tankanlagen und Leitungen sowie zusätzliche Sicherheitsmassnahmen für das Heizöl EL sind vom Gewässerschutzamt und Feuerweh-rinspektorat abgenommen.
- Vorschriften und Ratschläge des Brandverhütungsdienstes (BVD) sind berücksichtigt.

Die Sicherheit der Gesamtanlage wird vom Technischen Inspektorat des Schweizerischen Gasfaches (TISG) als sehr gross bezeichnet. Die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Störfalles wird auf $2 \cdot 10^{-6}$ /Jahr veranschlagt, ein Wert, der deutlich unter demjenigen der chemischen oder Maschinenindustrie liegt.

In der Risikoanalyse wurden verschiedene Störfälle untersucht. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Zerstörung der Heisswasserkessel sowie der Vor- und Rücklaufleitungen - Freisetzung von grossen Dampfmengen - wegen der Nähe des Bahnhofes sowie der bewohnten Nachbarschaft als Umweltrisiko betrachtet werden muss. Dabei wurde festgestellt, dass die Auswirkungen aller möglichen Störfälle - auch bei teilweisem Ausfall der Sicherheitseinrichtungen und Fehlmanipulationen - zu gering sind, um die Heisswasseranlagen zu zerstören. Die Auswirkungen dieser Störfälle sind auf das Gebäude beschränkt.

ANHANG I

I.A QUELLEN UND BEMERKUNGEN

- [1] (Kapitel 1.1, Seite 1) Der Grosse Rat hat im April 1988 einem neuen Gesetz über die Versorgung des Kanton Basel-Stadt mit Energie und Trinkwasser durch die Industriellen Werke Basel zugestimmt. Darin werden die leitungsgebundenen Energien Elektrizität, Fernwärme und Gasvereinheitlicht. Absolut neu ist die Bestimmung, wonach Neubauten im Nahbereich der Fernwärmeversorgung an deren Netz anzuschliessen sind, ebenso bestehende Bauten, wenn ihre Heizungsanlage erneuert oder wesentlich geändert wird.
- [2] (Kapitel 1.1, Seite 1) Bei der Wärme-Kraft-Kopplung wird ein Teil der Wärme auch zur Produktion von elektrischer Energie verwendet. Nur ein Teil der bei der Verbrennung freigesetzten Energie wird für die Fernwärme genutzt. Die Wärme-Kraft-Kopplung kann bei Heizkraftwerken, die *Bandenergie* produzieren, mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt werden. Bei Heizwerken, die zur Deckung des Spitzenenergie-Bedarfs dienen und deshalb weniger als 1000 Betriebsstunden pro Jahr haben, ist die Wärme-Kraft-Kopplung aus regeltechnischen und Kostengründen wenig sinnvoll.
- [3] (Kapitel 2.1.1, Seite 5) Bei Explosionen muss unterschieden werden zwischen Explosionen in einem Raum mit einer dreidimensionalen Ausbreitung und Explosionen in Rohrleitungen (eindimensionale Ausbreitung). In Raumexplosionen wandert die Flammenfront durch eine relativ ruhende Gasmasse. Der Druck einer Erdgasexplosion im kubischen Raum überschreitet kaum 2 bar. In einer geschlossenen langen Leitung hingegen wird bei der Einleitung einer Erdgas- oder Methanexplosion an einem Flanschende das Unverbrannte zunächst durch die Ausdehnung des Verbrannten weggeschoben. Die Flamme wandert also nicht durch eine ruhende, sondern durch eine sich in Bewegung befindliche Gasmasse. Parallel zu der Verdrängungsgeschwindigkeit, die durch die Verdichtung des Verbrannten und Unverbrannten gesteuert wird, ändert sich auch die Explosionsgeschwindigkeit, wobei sich Schwingungsvorgänge überlagern. Der im Rohrrinnern gemessene Explosionsdruck dieser mit einigen 10 m/sek ablaufenden Methan- bzw. Erdgasexplosionen liegt zwischen 3-6 bar. Dieser Wert erhöht sich an den Rohrenden, wo der Druck (evt. Detonation) abgebremst wird, auf den doppelten bis dreifachen Wert.
- E. Votapek, Technisches Inspektorat des Schweiz. Gasfaches, Zürich.
- [4] (Kapitel 2.1.3, Seite 6) Unter sphärischen Explosionen werden Explosionen verstanden, wo die Druck- und Zündwellen identisch sind. Die Feuerfront verläuft bei diesen Explosionen nicht mehr in einem relativ stagnierenden unverbrannten Gas, sondern in einem bewegten. Damit sind sphärische Explosionen bezüglich Schwingungs- und Druckverlauf den Rohrexplosionen in grösseren Durchmessern sehr ähnlich und können nach der thermodynamischen Theorie der Detonation berechnet werden. Druckwellen sphärischer Explosionen können bis zu 30 bar betragen. In Wandbereichen, wo die Fortbewegung der Gasmassen verlangsamt wird, sind noch höhere Drücke möglich.
- [5] (Kapitel 4.3, Seite 15) Als *Saacke-Platine* wird ein festes Hersteller-Programm bezeichnet, das vom SVDB abgenommen ist. Es überwacht die Manipulationen bei der Zündung und Inbetriebnahme der Brenner und unterbricht den Vorgang automatisch bei Fehlmanipulationen oder falschen Betriebsbedingungen.
- [6] (Kapitel 7.2.1, Seite 23) Ein entsprechender Versuch wurde im Herbst 1989 im Rahmen einer Zivilschutzdemonstration des Tech. Inspektorates des Schweizerischen Gasfaches durchgeführt. Dabei wurde ein Raum mit 30 m³ Inhalt mit 1'700 Liter Erdgas (≈UEG) gefüllt und 60 cm unterhalb der Decke gezündet. Der resultierende Druck wurde durch ein Kamin (Durchmesser 30 cm) abgeleitet. Der Versuch ergab, dass sich das ganze Erdgas an der Decke angesammelt hat und nur eine kleine Übergangszone zwischen dem Erdgas und der Luft mit Konzentrationswerten zwischen dem unteren und oberen Explosionsgrenzwert ergeben hat.

Bei der Zündung ist dieser Mischbereich sehr schnell und der obere, konzentrierte Gasbereich relativ langsam abgebrannt. Der gesamte Druck aus der Verbrennung konnte durch das Kamin abgeleitet werden, ohne dass an der Raumstruktur ein Schaden entstanden ist (Überdruck < 0,5 bar). Dieses Beispiel zeigt, dass Erdgas, auch wenn es im Bereiche der Explosionsgrenzwerte liegt und der Druck abgeführt werden kann, als schnelle Verbrennung und nicht als Detonation verbrennt.

Das Resultat dieses Versuches ist an der Tagung des SVGW am 22 Mai 1990 offiziell vorgestellt worden.

ANHANG II

II.A LÄNGE DER DRUCKLEITUNGEN IM HEIZWERK BAHNHOF

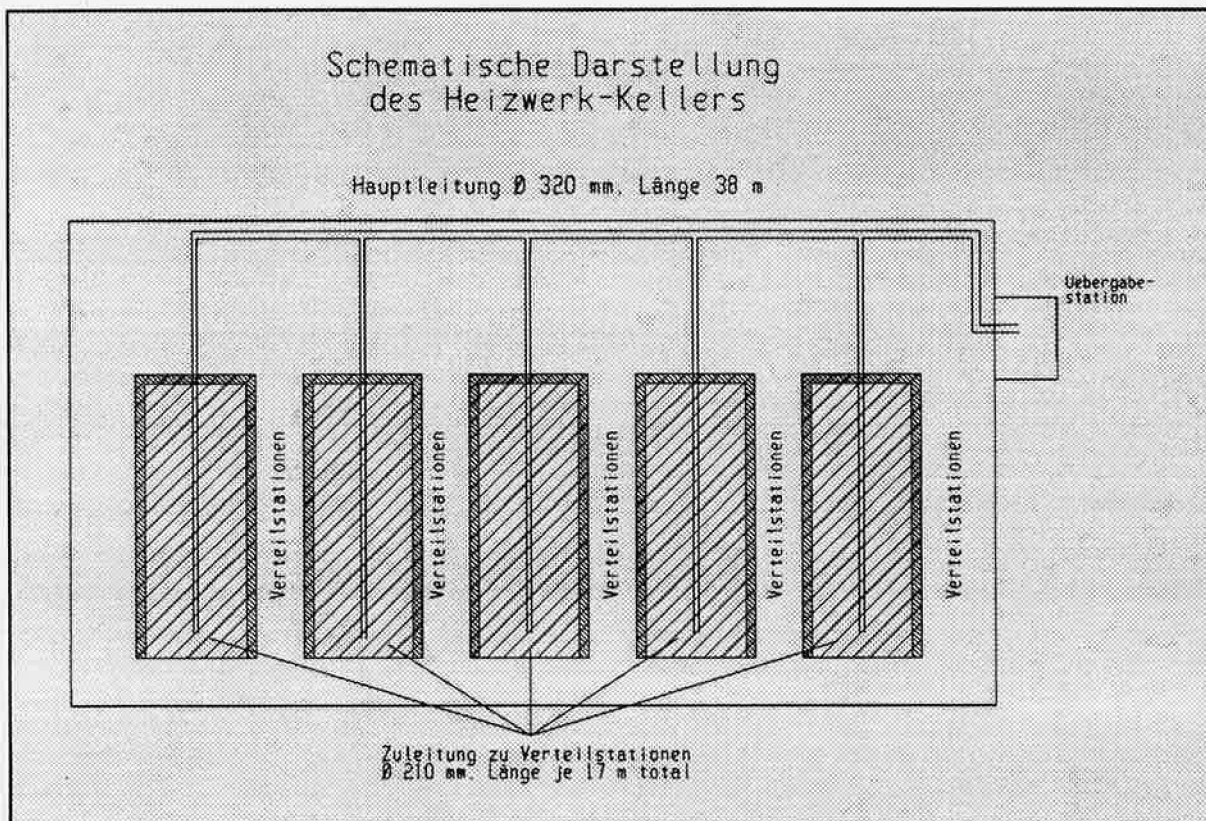


Bild II.1 Schematische Darstellung des Kellers im Heizwerk mit dem Verlauf der Gasleitungen.

Die Erdgasleitungen im Keller des Heizwerkes (siehe Bild II.1) setzen sich zusammen aus der Filterstation mit dem Schnellschlussventil, einer Stammleitung (\varnothing 320 mm, Länge 38 m) und fünf Zuleitungen zu den Verteilstationen (\varnothing 270 mm, Länge je 17 m). Diese Filter und Leitungen stehen unter einem maximalen Betriebsdruck von 5 bar. Der totale Leitungsinhalt ist entsprechend Tabelle II.1 mit 9,5 bis 10 m³ anzusetzen.

Im Falle eines Leitungsbruches wird sich der Druck in der Gasleitung abbauen und Erdgas in die Kellerluft entweichen. Bei einem solchen Vorkommnis kann mit einem Entweichen von rund 40 m³ Erdgas gerechnet werden.

Tabelle II.1 Länge und Inhalt der Erdgasleitungen im Keller des Heizwerkes.

Segment	Ø (mm)	Länge m	Inhalt m ³	Inhalt m ³
Filter			1,6 m ³	1,6 m ³
Hauptleitungen	320	38	3,0 m ³	3,0 m ³
Verteilleitungen	270	5 x 17	5 x 1,0 m ³	5,0 m ³
Total Inhalt				9,6 ³

II.B GEWICHT DER KELLERDECKE

Das Gewicht der Kellerdecke ist für die Abschätzung der Explosionsauswirkungen auf die Heisswasserkessel relevant. Es kann bei der Explosions-Betrachtung davon ausgegangen werden, dass die Kellerwände im Boden fest eingebunden sind und dem Druckanstieg nicht nachgeben können. Lediglich die Kellerdecke, die zugleich der Boden des Kesselhauses ist, kann durch den Explosionsdruck angehoben werden.

Das Gewicht der Kellerdecke setzt sich zusammen aus der Betondecke (40 cm), 50% der Nutzlast und dem Gewicht der Heizkessel. Das Gewicht der gesamten Betondecke und Zusatzlasten verteilt auf die freie Angriffsfläche ergibt das Deckengewicht, das für die Berechnung der Auswirkungen der Gasexplosionen relevant ist. Dabei wird in der Berechnung angenommen, dass der Innenraum der Messstationen wegen der seitlichen Abschirmung durch die Wände keinen wesentlichen Druckanstieg registrieren wird. Entsprechend Tabelle II.2 wird das dem Explosionsdruck entgegenwirkende Gewicht der Kellerdecke 3 t/m² sein.

Tabelle II.2 Lasten und Gewicht der Kellerdecke

Totale Fläche der Decke	760,0 m ²
Freie Angriffsfläche	468,5 m ²

Totale Last der Kessel	145 t
50% Nutzlast (0,75 t/m ²)	570 t
Decke	720 t
Total	1'445 t

Gewicht der Decke	3 t/m ²
-------------------	--------------------

ANHANG III

III.A BERECHNUNG DER DRUCKWELLEN BEI ERDGASEXPLOSIONEN UND DEREN AUSWIRKUNGEN

III.A.1 Druckanstieg bei Explosionen

Die Druckwellen der Erdgasexplosionen werden mit den Gasgleichungen berechnet. Dabei wird gemäss den Brandeigenschaften des Erdgases nicht der dynamische sondern statische Druckanstieg berechnet. Dazu wird das Brandvolumen als festes Kontrollvolumen betrachtet. Entsprechend dem Energieeintrag wird die Temperatur- und Druckzunahme in diesem Volumen berechnet. Als Vereinfachung wird dabei angenommen, dass das Erdgas gleichmässig in diesem Volumen verteilt ist und somit in ihm kein Temperaturgradient besteht. Anschliessend wird eine adiabatische Ausdehnung dieses Volumens in das Restvolumen mit einem Druckausgleich im ganzen Kellerraum ermittelt. Dieser Druckanstieg im ganzen Kellerraum wird als diejenige Kraft betrachtet, die von unten nach oben an die Kellerdecke angreift und eventuell diese abhebt. Bei der Betrachtung wird davon ausgegangen, dass der Druck nicht durch Öffnungen wie Türen unmittelbar abgebaut werden kann und dass die Seitenwände des Kellers durch den äusseren Erddruck fest eingebunden sind.

Die Last der Kellerdecke setzt sich zusammen aus dem Gewicht der 40 cm dicken Betondecke, einer Nutzlast von 900 kg pro m^2 und der gleichmässig über den ganzen Boden verteilte Planungsgewicht der Heizkessel.

III.A.2 Abschätzung der Zerstörung und Entscheidungskriterien

Mit dieser Masse pro Flächeneinheit der für die Druckeinwirkung freien Decke wird mit der Druckkraft eine von unten nach oben wirkende Beschleunigung berechnet. Wenn diese aufwärts gerichtete um 2 ms^{-2} grösser ist als die Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ ms}^{-2}$), kann ein lokales Anheben der Kellerdecke und Reißen der Kellerdecke erwartet werden. Bei dieser Einwirkung ist jedoch noch keine gravierende Zerstörung der Deckenarmierung vorauszusehen. Diese könnte jedoch bei einer resultierenden Beschleunigung von 5 ms^{-2} eintreten (aufwärts gerichtete Beschleunigung von 15 ms^{-2}). Ein Einsturz der Decke selbst ist jedoch erst nach einer resultierenden Beschleunigung von mehr als 10 ms^{-2} zu erwarten.

Im Falle eines Anhebens kann mit der Beschleunigung durch den Druck eine theoretische Wurfhöhe der Kellerdecke mit den darauf stehenden Installationen abgeschätzt werden, wobei angenommen wird, dass der treibende Druck im Keller spätestens nach zwei Meter Weg der Kellerdecke durch die entstandenen Risse vollständig abgebaut ist.

Durch das Anheben der Decke um einen Meter werden die Heisswasserleitungen (Vor- und Rücklauf) aufgerissen und in der Folge wird ein massives Freisetzen von Heisswasser aus den Kesseln und der Fernheizleitung die Auswirkungen des Störfalles bestimmen. In einem solchen Falle wird es zu einer vollständigen Zerstörung des Heizwerkes mit Auswirkungen über die Grundstücksgrenzen hinaus kommen.

III.A.3 Berechnungsgrundlagen

Die Temperaturerhöhung vom brennenden Kontrollvolumen wird mit der Gleichung 1) berechnet:

$$T_2 = \frac{Q}{m \cdot c_v} + T_1 \quad 1)$$

Der resultierende Druck im Brandvolumen vor der Expansion wird entsprechend dem Gasgesetz mit Gleichung 2) berechnet:

$$p_2 = \frac{m_2 \cdot R \cdot T_2}{V_2} \quad 2)$$

Der Druckausgleich zwischen den beiden Volumen wird mit einer adiabatischen Zustandsänderung der beiden Volumina mit der Gleichungen 3) beschreiben:

$$\begin{aligned} p_2 \cdot V_2^K &= p \cdot (V_2 + \Delta V)^K \\ p_1 \cdot V_1^K &= p \cdot (V_1 - \Delta V)^K \end{aligned} \quad 3)$$

Diese Gleichungen werden für beide nach ΔV , der Expansion des Brandvolumens, resp. Kompression des kalten Volumens, aufgelöst und anschliessend p berechnet. Dieser resultierende Druck p , der im ganzen Kellerraum angreift, wird als Berechnungsgrösse für die auf die Kellerdecke wirkende Kraft verwendet.

Diese Berechnungsart ist für das Brennverhalten von Erdgas, das als *Schnelles Abbrennen* bezeichnet werden kann, zulässig. Der primäre hohe Druck im Brandvolumen verteilt sich mit Schallgeschwindigkeit auf den ganzen Raum ($v > 330 \text{ ms}^{-1}$) während die Zündgeschwindigkeit kleiner als 1 ms^{-1} ist.

III.A.4 Konstante Parameter

Verschieden Konstanten werden in der Berechnung des Gasdruckes angewendet:

Freies Volumen des Kellers	V_0	3280 m ³
Masse der Luft (Korr 20°C)	m	1,22 kg/m ³
Energie Erdgas	Q	37,1 · 10 ⁶ J/m ³
Gaskonstante Luft	R	287 J/kg deg
Adiabatische Konstante (Vol)	c_v	710 J/kg deg
Adiabatische Konstante (Druck)	c_p	1,002 · 10 ³ J/kg deg
Kappa (dimensionslos)	K	1,412
Druck (atmosphärisch, 1 bar)	p	100 · 10 ³ J/m ³

III.B MAXIMAL ZULÄSSIGE GASEXPLOSION IM KELLER

Für die Sicherheit der Heisswasserkessel ist die Abschätzung der maximalen Erdgasmenge zu bestimmen, die im Keller - ohne Druckabbau durch die Treppenhäuser - gezündet werden kann, ohne dass die kritische aufwärts gerichtete Beschleunigung von 12 ms^{-2} erreicht wird (vergleiche auch Kapitel III.A.2, Seite 42). Die Kalkulation der entsprechenden kritischen Gasmengen ist durchgeführt worden und in Tabelle III.1 zusammengefasst.

Tabelle III.1 Kritische Gasmengen bei Erdgasexplosionen.

Gasmenge	effektiver Druck nach Explosion, statisch (bar)	Druckzunahme (bar)	resultierende Beschleunigung der Kellerdecke (ms ⁻²)
10,75 m ³	1,29	0,29	0
13,0 m ³	1,35	0,35	2,1
16,0 m ³	1,44	0,44	5,0
21,0 m ³	1,60	0,60	10,0

Bei Erdgasexplosionen mit weniger als 13 Nm³ werden die Heiswasserkessel sowie die Vor- und Rückläufe mit Sicherheit nicht zerstört. Somit werden eventuelle Schäden auf das Heizwerk beschränkt bleiben und keine Auswirkungen auf die Umgebung haben.

III.C HYPOTHETISCHER GROSS-STÖRFALL

Entsprechend dem Szenarium in Kapitel 7.1, Seite 21, entweichen 90 Nm³ Erdgas und werden gezündet. In der Berechnung wird davon ausgegangen, dass die 90 Nm³ sich mit 810 m³ Luft vermischen und so ein explosives Gemisch von 900 m³ bilden. Dieses Volumen wird sich dabei auf 4'576 °K erwärmen (Gleichung 1). Nach vollständiger Verbrennung des Erdgases würde sich der Druck in diesem Volumen von 900 m³ auf 16 bar erhöhen (Gleichung 2). Da die Verbrennungsgeschwindigkeit jedoch bedeutend kleiner ist als die Geschwindigkeit der Druckausbreitung (Schallgeschwindigkeit), wird sich der Druck im ganzen Keller gleichmäßig erhöhen (Gleichung 3). Dabei wird sich das verbrannte Volumen von 900 auf 2'392 m³ erhöhen und der Druck auf 4,02 bar verringern. Somit wird von unten her eine Druckzunahme von rund 3 bar auf die Kellerdecke einwirken. Durch diese Druckzunahme, die 30,2 kgms⁻²cm⁻² entspricht, wird die Kellerdecke mit einer Masse von 0,3 kg/cm² nach oben beschleunigt. Diese Beschleunigung beträgt nach Abzug der Erdbeschleunigung rund 90 m/s². In der berechnung der Wurfhöhe der Trümmer wird angenommen, dass sich der Druck nach dem Anheben der Decke rasch abbaut und nach einem theoretischen Weg von zwei Metern wegen der Zerkmmerung nicht mehr treibend wirkt. Mit einer Modellrechnung wurde so eine Wurfhöhe von mehr als 11 Meter bestimmt (Vergleiche Bild 7.1, Seite 22).

III.D BERECHNUNGEN DER AUSWIRKUNGEN VON GASEXPLOSIONEN BEI MÖGLICHEN STÖRFÄLLEN

Verschiedene Kombinationen wurden für die Ermittlung der Störfallszenarien der Kapitel 7.2, Seite 23, und Kapitel 7.3, Seite 24, durchgeführt. Die verschiedene Gaszustnde wurden als adiabatische Zustandsveränderungen berechnet (keine zu-

Tabelle III.2 Zusammenstellung der Beschleunigung in Abhängigkeit der austretenden Erdgasmenge. Die resultierende Beschleunigung entspricht der Differenz zwischen der aufwärts gerichteten und der Erdbeschleunigung.

Erdgas Austrittsmenge [m ³]	Effektive Beschleunigung [ms ⁻²]	Resultierende Beschleunigung [ms ⁻²]	V ₁ [m ³]	V ₂ [m ³]	ΔV [m ³]	Druck [bar]
1,0	0,88	-8,93	3270,0	10,0	59,94	1,03
2,0	1,77	-8,04	3260,0	20,0	117,37	1,05
3,0	2,67	-7,14	3250,0	30,0	172,41	1,08
4,0	3,57	-6,24	3240,0	40,0	225,19	1,11
5,0	4,48	-5,33	3230,0	50,0	275,82	1,13
6,0	5,39	-4,42	3220,0	60,0	324,42	1,16
7,0	6,31	-3,50	3210,0	70,0	371,08	1,19
8,0	7,24	-2,57	3200,0	80,0	415,91	1,22
9,0	8,18	-1,63	3190,0	90,0	458,98	1,25
10,0	9,12	-0,69	3180,0	100,0	500,38	1,27
11,0	10,06	0,25	3170,0	110,0	540,18	1,30
12,0	11,01	1,20	3160,0	120,0	578,47	1,33
13,0	11,97	2,16	3150,0	130,0	615,31	1,36
14,0	12,94	3,13	3140,0	140,0	650,76	1,39
15,0	13,91	4,10	3130,0	150,0	684,88	1,42
16,0	14,88	5,07	3120,0	160,0	717,73	1,45
17,0	15,86	6,05	3110,0	170,0	749,37	1,48
18,0	16,85	7,04	3100,0	180,0	779,85	1,51
19,0	17,84	8,03	3090,0	190,0	809,21	1,54
20,0	18,84	9,03	3080,0	200,0	837,50	1,57
25,0	23,92	14,11	3030,0	250,0	964,33	1,72
30,0	29,13	19,32	2980,0	300,0	1069,99	1,87
35,0	34,48	24,67	2930,0	350,0	1158,07	2,03
40,0	39,94	30,13	2880,0	400,0	1231,40	2,20
50,0	51,24	41,43	2780,0	500,0	1342,32	2,54
60,0	63,00	53,19	2680,0	600,0	1416,09	2,89
70,0	75,19	65,38	2580,0	700,0	1461,73	3,26
80,0	87,80	77,99	2480,0	800,0	1485,56	3,63
90,0	100,80	90,99	2380,0	900,0	1492,14	4,02

sätzliche Arbeit oder Wärmeeintrag). Die Berechnungen wurden mit den Gleichungen 1) - 3) auf Seite 43 durchgeführt, wobei eine Erdgas-Luftverhältnis von 10% angenommen wurde. Eine Zusammenstellung der Resultate dieser Berechnungen ist in der Tabelle III.2 enthalten. Die **Erdgas-Austrittsmenge** entspricht dabei dem Gasvolumen, das im Keller zur Zündung gelangt. Die **effektive Beschleunigung** entspricht der aufwärtsgerichteten Beschleunigung der Kellerdecke infolge der Druckzunahme, während die **resultierende Beschleunigung** die Differenz zwischen der effektiven und der Erdbeschleunigung darstellt. Das Volumen V₁ entspricht dem nicht-verbrennenden Luftvolumen, V₂ dem verbrennenden Mischvolumen und ΔV dem Ausbreitungsvolumen nach Abbrand.

III.E STÖRFALL MIT PROPANGAS

Die Ermittlung der Auswirkungen eines Propangas-Störfalles wird in zwei Schritten durchgeführt. Der erste ist die Darstellung der Ausbreitung von Propangas auf dem flachen Boden des Kesselhauses. Da die Raumlüftung in diesem Teil nicht genau definiert werden kann, muss mit einer realistischen Annahme versucht werden, die Akkumulation des Gases am Boden darzustellen. Bei dieser Darstellung wurden soweit wie möglich Erfahrungen aus bekannten Unfällen beigezogen. Die Auswertung hat aber gezeigt, dass Propangasexplosionen von Gas, das sich in kleineren Mengen auf einem flachen, seitlich unbegrenzten Boden ansammelt, äusserst selten sind. Normalerweise sammelt sich das Gas in wannenähnlichen Strukturen wie Kellerräume, Becken etc. an.

Bei kleineren Propangasmengen muss daher angenommen werden, dass sich das Gas in Bodennähe ansammelt, aber durch die Diffusion (Fick's Gesetz) mit der Luft sich in ein Gasgemisch einstellt, wobei der untere Explosionsgrenzwert nur bei höheren Propangasmengen erreicht werden kann. Eine genaue Abschätzung der Mischschicht-Dicke und -Konzentration ist jedoch wegen des Einflusses der Luftturbulenz, hervorgerufen durch die Kesselhauslüftung, nicht möglich. Somit wird eine 300 m² grosse Fläche mit einer Mischschicht-Dicke von 0,8 m angenommen.

Die Druckwelle bei der Propangas-Explosion wird entsprechend Erfahrungswerten mit 5 bar angenommen. Der statische Druckanstieg im Kesselhaus kann jedoch vernachlässigt werden, da die dynamische Druckwelle sicher die Fenster soweit "beschädigen" wird, dass eine statische Druckzunahme ausgeschlossen werden kann.

ANHANG IV

IV.A DIE FEHLERBAUMANALYSE

IV.A.1 Prinzip der Fehlerbaumanalyse

Der Aufbau eines Fehlerbaumes ist eine systematische und analytische Untersuchung eines Hauptereignisses unter Zuhilfenahme des deduktiven Denkens (d.h. vom Allgemeinen zum Speziellen hin) mit dem Ziel, allmählich die zum Hauptereignis beitragenden Umstände (Faktoren) isolieren zu können. Beim Fortschreiten des Aufbaus des Baumes wird jeder Fehler soweit entwickelt (auf Ursachen untersucht), bis eine Systemkomponente gefunden wird, für die der betreffende Versager als Primär- oder grundsätzlicher Versager angesehen wird, d.h. für das Erstellen des Baumes kein weiteres Unterteilen in beitragende Faktoren mehr nötig ist.

Ein Fehlerereignis ist somit das Resultat des logischen Zusammenspiels von anderen beitragenden Faktoren und Ereignissen. Die graphische Konstruktion, die ein solches Fehlerereignis und dessen grundsätzliche Faktoren zeigt, heisst "Ast" eines Baumes.

Wenn man im Diagramm (also Baum) von oben nach unten geht, so laufen die Ereignisse vom Allgemeinen zum Speziellen. Der zeitliche Ablauf geht aber von unten nach oben.

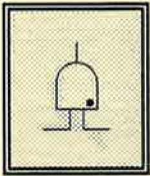
Verwandte Ereignisse und wesentliche Bestandteile auf derselben Zeile (also gleich hoch oben im Baum) werden mit einer Linie verbunden, bevor sie durch eine logischen Verknüpfung verarbeitet werden. Eine vertikale Linie verbindet ein allgemeines Ereignis auf einer Zeile mit dessen detaillierteren Elementen (Ursachen) in der darunter liegenden Zeile, also ein Niveau tiefer im Baum.

IV.A.2 Symbole der Fehlerbäume

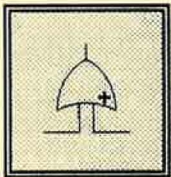
Zwei Arten von Symbolen werden bei den Arbeitsbäumen verwendet:

- logische Symbole (Verknüpfungen)
- Ereignis-Symbole.

Zwei grundsätzliche logische Symbole (Verknüpfungen) werden zum Verbinden (Verknüpfen) von Ereignissen, die zum betreffenden Hauptereignis (obenstehendem Ereignis) beitragen, gebraucht. Sie reichen meistens zum Aufzeichnen von Arbeitsbäumen aus, obwohl verschiedene weitere, mehr spezialisierte logische Verknüpfungen entwickelt worden sind, um Zeit und Aufwand für Analysen weiter verringern zu können.



Die UND-Verknüpfung ergibt nur dann einen Output, wenn alle Inputs miteinander auftreten, das heisst, dass alle darunterstehenden Ereignisse (INPUT) gleichzeitig erfüllt sein müssen, damit das obenstehende Ereignis (OUTPUT) eintritt.



Die ODER-Verknüpfung ergibt dann einen Output, wenn ein oder auch mehrere Inputs auftreten. (Diese ODER-Verknüpfung ist genau genommen ein NICHTEXKLUSIV-ODER, das sich von "EXKLUSIV-ODER" unterscheidet, indem das EXKLUSIV-ODER nur dann einen Output ergibt, wenn ein einziger Input auftritt.)

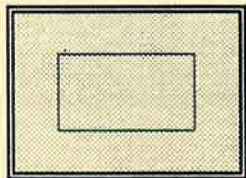
ODER-Verknüpfung: ein einziges (oder mehrere) untenstehendes Ereignis genügt, damit das obenstehende Ereignis eintritt.

Input: Eingang, Eingabe, Eingangsgrösse, bei analytischen Bäumen: Ursache, untenstehendes Ereignis.

Output: Ausgang, Ausgabe, Ausgangsgrösse, Ereignis, bei analytischen Bäumen: Wirkung, Effekt, obenstehendes Ereignis.

Unter einer Verknüpfung stehen immer mindestens zwei Ereignisse (Inputs), die möglichst allgemein die Bedingungen für das Eintreten des obenstehenden Ereignisses (Output) angeben sollen.

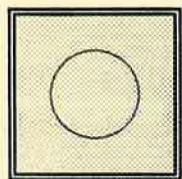
Die drei hauptsächlichsten Ereignis-Symbole sind das Rechteck, der Kreis und der Rhombus (Parallelogramm). Weitere spezialisierte Ereignis-Symbole sind entwickelt worden.



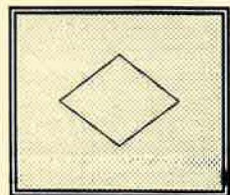
Das Rechteck bedeutet ein (Fehler-) Ereignis, das aus der Kombination von beitragenden (Fehler-) Ereignissen durch die logische Verknüpfung hervorgeht, also ein Ereignis (erwünscht oder unerwünscht), wobei das Hauptereignis, das es zu untersuchen gilt, zuoberst steht. Das Ereignis ist in jedem Fall genau zu beschreiben (Definition), mit Subjekt und Verb, wobei folgende

Fragen zu beantworten sind: Wer? Was? Wo? Wann? Welche? Wieviel?

Weitere Symbole, die vor allem bei Fehlerbäumen Verwendung finden:

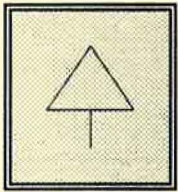


Der Kreis bezeichnet einen grundsätzlichen (primären) Systemkomponentenversager oder ein Inputfehlerereignis, das von allen anderen Ereignissen unabhängig ist, d.h. primärer oder Komponentenversager, dessen Ursache nicht weiter analysiert wird.



Der Rhombus wird zu Darstellen eines Inputfehlerereignisses, das für den betrachteten Arbeitsbaum als grundsätzlich angesehen wird, verwendet. Das beschriebene Ereignis ist jedoch nicht ein Grundsätzliches im Sinne von Primärversager, wobei Daten aus Labors oder anderen Versuchen (Ausfallraten usw.) vorliegen, sondern ein Versager, der nicht mehr weiter untersucht wird, entweder weil die Ursachen nicht von Interesse sind, oder weil

ausreichende Informationen fehlen. Im zweiten Fall muss die Analyse später fortgesetzt werden, wenn mehr Informationen eingeholt worden sind.



Ein Dreieck zeigt eine Übertragung von oder nach einem anderen Teil des Baumes an. Das bedeutet, dass der darunterstehende Teil des Baumes an mehreren Stellen (mindestens an zwei) des ganzen Baumes vorkommt. Im Fehlerbaum sind dies immer Abhängigkeiten, d.h. eine einzige Ursache löst an verschiedenen Stellen einen Versager aus, oder umgekehrt formuliert: verschieden Versager haben eine gemeinsame Ursache.

ANHANG V

V.A KOPIE DER WEISUNG FERNWÄRME BETRIEB ÜBER DIE DURCHFÜHRUNG DER BETRIEBSKONTROLLEN UND UNTERHALTSARBEITEN



INDUSTRIELLE WERKE BASEL

8. August 1990 FB/Gan/gv

Weisung FB

- an Pikettdienst FB
- z.K. HH. Herzog / Schenkel / Lutz / Schichtmeister

Betriebskontrollen in den Werken HWB / HWD

Die Betriebskontrollen in den Aussenbetrieben HWB und HWD haben den Zweck die Versorgungssicherheit, aber auch die allgemeine Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Spitzenheizwerke werden in der Regel vom 1. Oktober bis 31. Mai betrieben. Während der Betriebsphase erfolgt täglich ein Kontrollgang. In den Sommermonaten Juni - September wird wöchentlich eine Kontrolle durchgeführt.

1. Die Kontrollarbeiten werden vom Pikettdienst FB durchgeführt. Der personelle Einsatz ist durch den Pikettdienstplan, welcher für das ganze Jahr gültig ist, geregelt. Abweichungen vom Pikettdienstplan werden gleich behandelt wie in der normalen Pikettdienstzeit vom Oktober bis Mai.
2. Es müssen folgende Kontrollen durchgeführt werden:

2.1 Brennstoffversorgung

- 2.1.1 Visuelle Kontrolle der Gasversorgung ab Haupteinspeisung bis zu den Brenneranlagen. Dabei soll vor allem auf allfälligen Gasgeruch geachtet werden. Störungen an der Gasversorgung sind sofort der Betriebsleitung zu melden.
- 2.1.2 Die Kontrolle der Oel-Tankanlagen erfolgt nach Weisung FB vom 30. Mai 1989.
- 2.1.3 Die Oelpumpen und Brennstoffleitungen bis zur Brenneranlage sind auf Dichtheit zu überprüfen.

2.2 Feuerungsanlage

- 2.2.1 Die Feuerungsanlage ist im Betrieb auf die Einhaltung der optimalen Rauchgaswerte zu überprüfen. (CO/02/Temperaturen).
- 2.2.2 Die Sicherheitseinrichtungen an den Brenneranlagen ist wöchentlich funktionell zu überprüfen (Flammenwächter/Feuer-raumdruck, Zwischendruck der Ventilkombination).

2.2.3 Kontrolle der Rezirkulationsventilatoren

2.3 Kesselanlage

2.3.1 Allgemeine visuelle Kontrolle der Kesselanlage auf Dichtheit der Stopfbüchsen und Flanschverbindungen (auch Zirkulationspumpe).

2.3.2 Kontrolle der im Betrieb befindlichen Anlagen am Vorortschrank (Durchflussmengen / Temperaturen)

2.4 Fernwärmanlage

2.4.1 Allgemeine Kontrolle der Anlage auf Dichtheit von Stopfbüchsen und Flanschverbindungen.

2.5 Umweltschutzanlagen

2.5.1 Kontrolle und Entleerung der Rauchgaskondensatgefässe

2.5.2 Kontrolle des Oelabscheiders am Oel-Umschlagplatz.

2.5.3 Kontrolle der Oelwannen an den Oelpumpen und an den Brennern

3. Unterhaltsarbeiten

3.1 Die Anlagen werden durch den Pikettdienst FB in sauberem Zustand erhalten. D.h. es müssen stetig die notwendigen Reinigungsarbeiten erledigt werden. Schadhafte Stellen werden sofort ausgebessert und wieder gestrichen.

3.2 Der Unterhalt an den Kesselanlagen wird nach den Vorschriften des SVDB programmgemäss durch den Pikettdienst ausgeführt. Sicherheitsventile werden durch die dafür autorisierte Ventilwerkstatt der Fa. Sandoz Basel gewartet. Diese Tätigkeiten werden durch SVDB überwacht und protokolliert.

3.3 Der Unterhalt und die dazugehörenden Kontrollen an den Feuerungsanlagen wird durch die Lieferfirma (Saacke, Dübendorf) jährlich durchgeführt. Zum Kontrollumfang gehört auch der Gasdruckregler nach der Brennstoffmessung der Kesselanlage. Diese Tätigkeiten werden protokolliert.

3.4 Der Unterhalt der Tankanlagen wird nach den Richtlinien des GSA / BS programmgemäss durchgeführt. Diese Tätigkeiten werden durch GSA überwacht und protokolliert.

3.5 Der Unterhalt der elektrischen Schaltanlagen wird nach den Richtlinien des schweizerischen Starkstrominspektorates vom Pikettdienst FB unter der Leitung des Elektromeisters FB durchgeführt. Die Anlagen werden vom Starkstrominspektorat kontrolliert und der Zustand wird protokolliert.

- 3.6 Die Gasversorgungsanlagen werden bis und mit der Brennstoffmessung durch die Hauptabteilung G / IWB gewartet und kontrolliert. Dabei gelten die Richtlinien und Vorschriften des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW:

- Gasleitsätze G 1 d
(Ausgabe 1989)
- Richtlinien für Bau-, Unterhalt- und Betrieb von Gasdruckregelanlagen mit Vordrücken von
0,1 - 5 bar G 7 d / f
(Ausgabe 1987)

Die Tätigkeiten werden protokolliert.

- 3.7 Die Gasalarmanlage wird durch die Lieferfirma "Gas-Control-Systeme AG" kontrolliert und gewartet. Diese Tätigkeiten sind vertraglich geregelt und werden protokolliert.

jährlich
(s. 13)

4. Ueberwachungsprotokoll

- 4.1 Die Ueberwachungstätigkeit des Pikettdienstes FB wird in einem formellen Ueberwachungsprotokoll festgehalten, welches wöchentlich der Betriebsleitung FB abzugeben ist.
- 4.2 Es ist selbstverständlich, dass jegliche Abweichung vom Normalverhalten der Anlagen sofort der Betriebsleitung zu melden ist.

Betriebsleitung FB

A. Ganz

INDUSTRIELLE WERKE BASEL Fernwärme Betrieb		001\FORMULAR\ F-0001.WR1 / UNT
Betriebsüberwachungsprotokoll HWB / HWD		13.08.90
Name Pikettdiensthabender	Woche	Jahr
Die Kontrollen sind nach den Weisungen FB vom 6.8.1990 durchzuführen:		
täglich:	2.1 Brennstoffversorgung (Oktober bis Mai)	<div>Visum: _____</div>
	2.2 Feuerungsanlage (Oktober bis Mai) <i>Si-Feuerungsanlage wöchentlich, wie erhöhtlich (?)</i>	<div>Visum: _____</div>
	2.3 Kesselanlage (Oktober bis Mai)	<div>Visum: _____</div>
	2.4 Fernwärmanlage (Oktober bis Mai)	<div>Visum: _____</div>
wöchentlich:	2.1 Brennstoffversorgung (Juni bis September)	<div>Visum: _____</div>
	2.4 Fernwärmanlage (Juni bis September)	<div>Visum: _____</div>
	2.5 Umweltschutzanlage (ganzes Jahr)	<div>Visum: _____</div>
Datum: _____		Unterschrift: _____

ANHANG VI

VI.A KOPIE DER SVDB-BEWILLIGUNG FÜR DEN BETRIEB DER HEISSWASSER-KESSEL OHNE STÄNDIGE AUFSICHT (FERNSTEUERUNG)

SVDB
ASCP

Schweizerischer Verein für Druckbehälterüberwachung
Association suisse de contrôle des installations sous pression

Geschäftsstelle

Kesselinspektorat

Postfach, 8030 Zürich
Telefon: 01/47 48 05
Telegramme: Kesselverein
Telex: 59141 SVDB CH
Postcheck: 80-654

Vorkitus: 2 Ex am FKW
1 Ex Sulzer-Consulting
1 Ex Sulzer AG. 3

I W B
Industrielle Werke Basel
Postfach

4008 B a s e l

F	de	
FB	de	

Ihre Zeichen
Vos références

Ihre Nachricht vom
Votre lettre du

Unser Zeichen
Notre référence

8032 Zürich,
Plattenstrasse 77

SP/ha L.Nr. 800413/1-2 19. Januar 1983

Bewilligung für den Betrieb ohne ständige Aufsicht der Heisswasseranlage Heizwerk Bahnhof

Nach vorgenommener Prüfung Ihres Gesuches vom 6.1.83 kann Ihrem Betrieb die nachgesuchte Bewilligung für den Betrieb ohne ständige Aufsicht der Heisswasseranlage, bestehend aus:

2 Heisswasserkesseln Fabr.-Nrn. 15713 und 15714

erteilt werden unter folgenden Bedingungen:

1. Der Betriebsinhaber hat die Verantwortung zu übernehmen:

- für die richtige Ausführung nach Schema Nr. 98314-038 KA von Gebr. Sulzer AG, Winterthur sowie das Einhalten der Angaben in der Beschreibung.
- für die sorgfältige Wartung und Kontrolle der Regel-, Sicherungs- und Warneinrichtungen.

2. Unabhängig von den Regeleinrichtungen müssen mindestens die vom SVDB verlangten Sicherheitsbegrenzer an jedem Heisswasserkessel vorhanden sein, nämlich:

- Strömungswächter im Rücklauf
- Temperaturbegrenzer im Vorlauf
- Druckbegrenzer im Vorlauf

Eine Funktionskontrolle dieser Begrenzer muss auch während des Betriebes jederzeit leicht durchführbar sein. Zudem sind die Begrenzer so zu sichern, dass deren Einstellung durch Unbefugte nicht geändert werden kann.

3. Die Sicherheitsbegrenzer müssen selbstüberwachend und elektrisch so geschaltet sein, dass bei Unterbruch des Steuerstromkreises jeder Brenner ausser Betrieb gesetzt und verriegelt wird.
4. Jeder Brenner muss augenblicklich und vollständig ausschalten und verriegeln beim Ansprechen der Begrenzer durch:

An jedem Heisswasserkessel

- a) Unterschreiten der min. Durchflussmenge
- b) Ueberschreiben der max. Vorlauftemperatur
- c) Störung an den Brennern
- d) Ueberschreiten des max. Druckes

Die Wiederinbetriebnahme der Brenner darf nur durch Entriegelung von Hand an den Kesseln selbst oder am zugehörigen Schaltschrank möglich sein.

5. Mindestens die unter Punkt 4 angegebenen möglichen Störungen müssen durch Signallampen am Schaltschrank separat erkennbar sein.
6. Jede Störung muss gleichzeitig durch eine optische und akustische Signalisierung angezeigt werden. Die entsprechenden Signallampen am Schaltschrank müssen solange leuchten bis:
 - a) die Störung an den Kesseln behoben ist und
 - b) durch das Betriebspersonal mittels Entriegelung von Hand die Brenner wieder in Betrieb gesetzt werden.
7. Die Signalisierung einer Störung ist wie folgt vorzusehen:
 - a) akustisch durch Horn und optisch durch Signallampen am Schaltschrank in der Heizzentrale, Heizwerk Bahnhof
 - b) akustisch und optisch in der Kommandozentrale an der Voltastrasse

Die Rückstellung einer Signalisierung darf nur am Schaltschrank in der Heizzentrale erfolgen, mit Ausnahme der akustischen in der Kommandozentrale an der Voltastrasse.

8. Bei Spannungsausfall oder Spannungsabfall von mehr als 30% müssen die Brenner ausser Betrieb gehen und verriegeln. Eine Wiederinbetriebnahme darf nur durch Entriegelung von Hand am Schaltschrank erfolgen.
9. Die Funktionskontrolle der Strömungswächter hat täglich zu erfolgen. Allfällig sich zeigende Mängel bei den vorgeschriebenen Funktionskontrollen der Brenner, der Begrenzer und der Regel-Einrichtungen sind durch das zuständige Betriebspersonal sofort zu beheben.
10. Eine Anleitung über die Durchführung der Funktionskontrollen muss vorhanden sein. Diese ist im Heizwerk Bahnhof anzuschlagen oder aufzubewahren.

11. Bei der erweiterten Abnahme-Untersuchung durch den Inspektor des SVDB müssen die Funktionskontrollen der Regel- und Begrenzungsorgane sowie der Alarmvorrichtungen vom zuständigen Betriebspersonal vordemonstriert werden.

Anlässlich jeder äusseren Untersuchung der Heisswasseranlage sind die Funktionskontrollen in Anwesenheit des Inspektors erneut vorzuführen.

12. Dem SVDB ist anzuzeigen, wann die Heisswasseranlage in Betrieb angetroffen werden kann, zur Vornahme der vorgeschriebenen erweiterten Abnahme-Untersuchung.
13. Die definitive Bewilligung für diese Betriebsweise wird erteilt, wenn nach Vornahme der erweiterten Abnahme-Untersuchung die Installationen in der Heisswasseranlage zu keinen Beanstandungen Anlass geben.

Mit freundlichen Grüssen

S V D B


C. Spoerri

Verteiler:

SVDB: 3xOF/Insp.KR/A (je 1)