



## DECKBLATT

EU 132.3	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	33219	-	EB	RB	0023	00

<b>Titel der Unterlage:</b> Systemanalyse Konrad, Teil 3: Erläuterungen zur Höhe und Breite des Temperaturplateaus der Modellkurve für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Fahrzeugbrand unter Tage, GRS-A-1340	<b>Seite:</b> I.
	<b>Stand:</b> Mai 1987

<b>Ersteller:</b> GRS	<b>Textnummer:</b>
--------------------------	--------------------

**Stempelfeld:**

PSP-Element TP..... 9K/21272	zu Plan-Kapitel: 3.5.2
------------------------------	------------------------

	PL 29.05.87  Freigabe für Behörden	PL 29.05.87  Freigabe im Projekt
--	---	--

Diese Unterlage unterliegt dem Schutz des Betriebsgeheimnisses sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Versendung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

# Revisionsblatt



EU 132.3	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn	Aufgabe	UA	Lfd Nr	Rev
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	33219	-	EB	RB	0023	00

Titel der Unterlage: Systemanalyse Konrad, Teil 3: Erläuterungen zur Höhe und Breite des Temperaturplateaus der Modellkurve für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Fahrzeugbrand unter Tage, GRS-A-1340	Seite: II.
	Stand: Mai 1987

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.



---

Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH

SYSTEMANALYSE KONRAD, TEIL 3  
ERGÄNZUNGEN ZUM ARBEITSBERICHT  
GRS - A - 1094

ERLÄUTERUNGEN ZUR HÖHE UND BREITE DES  
TEMPERATURPLATEAUS DER MODELLKURVE FÜR  
DEN TEMPERATUR-ZEIT-VERLAUF BEIM FAHR-  
ZEUGBRAND UNTERTAGE

GRS - A - 1340 (Mai 1987)

Auftrags-Nr.: 41 371



Anmerkungen:

Dieser Bericht ist von der GRS im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) erstellt worden. Der Eigentümer behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung des Auftraggebers zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



INHALT

	<u>Seite</u>
1. EINLEITUNG	2
2. HERLEITUNG DER GRS-MODELLKURVE	4
3. ZUSAMMENFASSUNG	13
4. VERWENDETE UNTERLAGEN	13

1. EINLEITUNG

Für die Störfallanalyse für die Schachtanlage KONRAD wird untertage der Brand eines mit Abfallgebinden beladenen Transportwagens (TW) deterministisch unterstellt.

Für den zu betrachtenden Störfall werden die thermischen Belastungen auf die Abfallgebinde anhand einer Lastfunktion in Form eines Temperatur-Zeitverlaufs, in folgender Modellkurve genannt, vorgegeben.

Die Ermittlung der sich aus dieser Lastfunktion ergebenden Auswirkungen erfolgt unter der Annahme, daß die vorgegebenen Temperaturen auf die gesamte Oberfläche der zu betrachtenden Gebinde einwirken und daß der Wärmeübergang, ausgehend von der Umgebungstemperatur (Modellkurve), sowohl durch Konvektion als auch durch Strahlung erfolgt.

Aufgabe der Modellkurve ist es, die möglichen Temperatureinwirkungen auf die Abfallgebinde abdeckend zu beschreiben. Aufgabe dagegen kann es nicht sein, den realen Brandverlauf einschließlich der örtlich und zeitlich stark schwankenden Brandtemperaturen realistisch zu prognostizieren, sondern es wird eine integrale Lastfunktion vorgegeben.

In /6/ sind verschiedene Modellkurven aufgeführt. Die PTB-Modellkurve ist zwischenzeitlich als Lastannahme für die Störfallanalyse von PTB fixiert. Diese Kurve basiert auf der von der GRS hergeleiteten Kurve.

Der vorliegende Bericht erläutert ausführlicher die Gründe, die zur Festlegung der GRS-Modellkurve für den Temperatur-Zeitverlauf geführt haben. Dabei werden insbesondere die Höhe und Breite des Temperaturplateaus diskutiert.

## 2. HERLEITUNG DER GRS-MODELLKURVE

Der Ermittlung der GRS-Modellkurve liegen folgende Parameter zugrunde:

Fahrzeug /1/:

TW als Knickgelenk-Fahrzeug, Länge ca. 9 m, Länge der Lastaufnahme-  
fläche ca. 4 m, Fahrzeugmasse 25 Mg.

Flüssig-Brandlasten /2/:

Dieselmotorkraftstoff	300 l,
Hydrauliköl	230 l,
Wandler-, Differential-, Radnaben- und Motoröl:	183 l.

Feststoff-Brandlasten /3/:

Reifen vorne 2 x ca. 340 kg Gesamtmasse (Gummimasse ca. 290 kg),

Reifen hinten 2 x ca. 600 kg Gesamtmasse (Gummimasse ca. 500 kg).

Unterstellte Umgebungsbedingungen:

Der Wetterstrom in der Einlagerungstransportstrecke beträgt je nach Entfernung des jeweiligen Einlagerungsfeldes von Schacht KONRAD 2 ca. 34 m<sup>3</sup>/s bis zu 57 m<sup>3</sup>/s. Für den Wetterstrom im Bereich einer Einlagerungskammer wird in /9/ ein Wert von 23 m<sup>3</sup>/s angegeben.

Gerade Fahrbahn, nicht gewölbt oder abschüssig.

Verfestigte Fahrbahndecke aus planiertem, zerkleinertem Eisenerz entsprechend bergbauüblichem Zustand bei regelmäßiger Fahrbahnpflege (ohne ausgeprägte Mulden bzw. Schwellen).

Es wird davon ausgegangen, daß der TW im Bereich des Lastaufnahmeteils keine Vorratsbehälter für Dieselöl oder Hydrauliköl hat, ferner wird unterstellt, daß die HRD-Löschanlage versagt bzw. nicht ausgelöst wird. Das Fahrzeug ist mit einer Trans-

portereinheit - Container oder Tauschpalette mit Abfallgebinden - beladen /1/.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse /4/ über Fahrzeugbrände in der Versuchsgrube TREMONIA sowie die Literaturangaben über Mineralöl- bzw. Fahrzeugbrände in unterirdischen Verkehrsanlagen sind auf KONRAD hinsichtlich der gesamten Branddauer wegen der unterschiedlichen Brandlasten, der Raumgeometrie sowie der Wetterführung nicht direkt übertragbar.

Verwendbar für die Grundzüge der Modellkurve ist jedoch der charakteristische Brandverlauf für Mineralölbrände in unterirdischen Verkehrsanlagen. Diese sind schneller Temperaturanstieg innerhalb von 5 Minuten, anschließend ein Temperaturplateau mit nahezu konstanten Temperaturen und schließlich die Abklingphase.

Fragegemäß werden im folgenden die Höhe des Temperaturplateaus sowie die Breite des Plateaus ausführlich diskutiert.

- Höhe des Temperaturplateaus

Wie in dem Abschlußbericht über das Untersuchungsvorhaben der Versuchsgrubengesellschaft TREMONIA /4/ dargestellt, ist die Form des Temperaturverlaufs in der Laderaummitte repräsentativ bezüglich des zeitlichen Ablaufs des Brandes sowie charakteristisch für die Temperaturen am Fahrzeug.

Im Bereich der Laderaummitte war die Schwankungsbreite der Temperaturen gering, da die Meßstelle nicht direkt den Flammen ausgesetzt war und eine gute Durchmischung der heißen Brandgase vorlag.

Für den durch eine "Modellkurve" idealisierten Temperaturverlauf wird in /4/ für die Höhe des Temperaturplateaus ein Wert von 850 °C angegeben.

Die Versuche in TREMONIA haben weiterhin gezeigt, daß oberhalb von 200 l Dieselkraftstoff eine weitere Vergrößerung der Brandlast durch zusätzliches Öl und/oder Reifen nur noch eine unwesentliche Temperaturerhöhung zur Folge hatte.

Für die Höhe des Temperaturplateaus wird deshalb, ausgehend von den TREMONIA-Versuchen und den übrigen Literaturangaben, ein Wert von 850 °C für die GRS-Modellkurve angesetzt.

• Breite des Temperaturplateaus

Die Branddauer ist bei brandlastgesteuerten Bränden, wie sie hier vorliegen, direkt proportional zur Abbrandgeschwindigkeit der einzelnen Brandgüter sowie zur Brandgutoberfläche, das heißt, die Branddauer ist direkt abhängig von der Brandlast.

Für die Bestimmung der Plateaubreite müssen die wesentlichen Brandgüter Mineralöl und Reifen getrennt betrachtet werden.

Die Brandzeit des Mineralöls wird im wesentlichen durch die vorhandene Menge und die Abbrandgeschwindigkeit von Mineralöl in Flüssigkeitslachen bestimmt. Die spezifische Abbrandgeschwindigkeit beträgt nach /5/ 150 kg/m<sup>2</sup>h.

Für die Ermittlung der Abbranddauer des Mineralöls wurde eine Fläche von ca. 10 m<sup>2</sup> angenommen, die sich unmittelbar unterhalb der Ladefläche des Transportfahrzeugs befindet.

Bei dieser Lachengröße muß davon ausgegangen werden, daß einerseits die Flammen direkt zu einer Temperaturbelastung der Abfallgebinde führen und durch den Ölbrand auch die Reifen innerhalb weniger Minuten entzündet werden und infolge des Stützfeuers heftig mitbrennen. Die Wahl einer kleineren Lachengröße ist hinsichtlich der zu erwartenden Temperaturbelastung der Abfallgebinde nicht konservativ, da einerseits die dann freigesetzte Wärmemenge zu niedrigeren Raumtemperaturen führt und andererseits durch die Ladefläche des Transportfahrzeugs infolge des Abschirmeffektes eine direkte Beaufschlagung der gesamten

Abfallgebindeoberfläche, wie bei der Modellkurve unterstellt, nicht mehr möglich ist. Zudem wäre eine kleine Lachengröße (z.B. 1 m<sup>2</sup>) schon deshalb unrealistisch, weil dann bei einer angenommenen Mineralölmenge von 300 l Dieselkraftstoff bereits eine durchgehende Lachenhöhe von ca. 30 cm entstünde, was angesichts der angenommenen Fahrbahnbedingungen nicht möglich ist.

Lachengrößen von > 10 m<sup>2</sup> würden zu kürzeren Brandzeiten und damit nur zu einer kurzzeitigen Temperaturbelastung der Abfallgebinde führen. Außerdem wäre die Wahrscheinlichkeit, daß die Leckage vor der Entzündung entdeckt wird und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden, sehr hoch.

Aufgrund der Menge und des Brandszenariums ist somit eine Mineralöllache von ca. 10 m<sup>2</sup> zu unterstellen; unter der Annahme, daß Hydrauliköl sowie Motoren- und Getriebeöl während des Brandes zufließen, errechnet sich daraus mit einer Abbrandgeschwindigkeit von 150 kg/m<sup>2</sup>h eine Brandzeit von ca. 30 Minuten.

Hinsichtlich der Brandzeiten der Reifen wird zwischen den Vorderreifen mit anteilig je 290 kg Gummi und den hinteren Reifen mit je 500 kg Gummi unterschieden. Die Reifen haben einen Durchmesser von ca. 2 m und eine Breite von ca. 0,5 m. Die äußere Oberfläche der Reifen beträgt ca. 6 m<sup>2</sup>. Die Entzündung der Reifen erfolgt aufgrund des Ölfeuers infolge des direkten Kontaktes mit den Flammen innerhalb von wenigen Minuten. Durch den Einfluß dieses Stützfeuers brennen die Reifen auf der gesamten äußeren Oberfläche. Die spezifische Abbrandrate beträgt 40 kg/m<sup>2</sup>h /5/. Bedingt durch den Brand und die Temperatureinwirkungen kann davon ausgegangen werden, daß sich die Reifen nach einigen Minuten teilweise von den Felgen lösen und die innere Oberfläche an der Verbrennung teilnimmt; vernünftig ist hierbei die Annahme, daß 50 % der inneren Oberfläche zum Brand beitragen. Für die Ermittlung der Branddauer wurde deshalb von einer Brandgutoberfläche von ca. 9 m<sup>2</sup> ausgegangen.

Die Pyrolyserate und damit auch die Abbrandgeschwindigkeit werden wesentlich von den umgebenden Raumtemperaturen (Konvektion, Strahlung) beeinflusst. Dementsprechend werden die Reifen wäh-

rend des Mineralölbrandes (Stützfeuer) heftig mitbrennen, das heißt, bei einer angenommenen Abbrandgeschwindigkeit von 40 kg/m<sup>2</sup>h sind die Vorderreifen nach ca. 30 Minuten (Dauer der Vollbrandphase des Ölbrandes) zu mehr als 60 % und die hinteren Reifen zu mehr als 36 % abgebrannt. Nach dem Erlöschen des Mineralölbrandes brennen noch vorhandene Reifenreste selbständig weiter. Aufgrund des fehlenden Wärmeeintrags durch das "Stützfeuer" nimmt die Heftigkeit des Reifenbrandes jedoch ab. Dabei ist zudem noch zu berücksichtigen, daß die einzelnen Reifen sehr weit auseinander stehen und durch das Fahrzeug selbst eine teilweise gegenseitige Abschirmung erfolgt. Unter diesen Randbedingungen ist es plausibel, daß die Vorderreifen erst nach ca. 45 Minuten und die hinteren Reifen nach ca. 85 Minuten vollständig verbrannt sind, wobei die Brandintensität zum Ende nur noch von Brandgutnestern bestimmt wird.

- Temperaturverlauf nach Beendigung des Mineralölbrandes

Zur Abschätzung des Temperaturverlaufs nach Beendigung des Mineralölbrandes wurde die Energiefreisetzung ermittelt. Im folgenden wird die über die Vollbrandphase ( $t > 5$  min) freigesetzte Energie abgeschätzt. Dabei wird für Öl von einem Heizwert von 42.500 kJ/kg und für Reifen von 42.000 kJ/kg ausgegangen /1/. Bei einem realen Brand wird nur ein Teil des Pyrolysegases vollständig zu CO<sub>2</sub> verbrannt; der Anteil an unverbranntem oder unvollständig verbranntem Brennstoff wird durch den sogenannten Verbrennfaktor berücksichtigt. Dieser Faktor beträgt für Reifen ca. 0,8 und für Dieselkraftstoff 0,9 /5/.

Unter Berücksichtigung der spezifischen Abbrandraten, der Oberflächen, der Heizwerte sowie des Verbrennfaktors für Reifen errechnet sich daraus folgende zeitliche Energiefreisetzung  $\dot{Q}$  für die Vollbrandphase:

a)  $t = 5 \text{ min}$  bis  $t = 35 \text{ min}$

$$\begin{array}{rcl} \dot{Q} \text{ (Öl)} & = & 9,54 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \\ \dot{Q} \text{ (Reifen vorne)} & = & 4,02 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \\ \dot{Q} \text{ (Reifen hinten)} & = & 4,02 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \\ \hline \dot{Q} & = & 1,76 \cdot 10^6 \text{ kJ/min} \end{array}$$

b)  $T = 35 \text{ min}$  bis  $t = 50 \text{ min}$

$$\begin{array}{rcl} \dot{Q} \text{ (Reifen vorne)} & = & 4,02 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \\ \dot{Q} \text{ (Reifen hinten)} & = & 4,02 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \\ \hline \dot{Q} & = & 8,04 \cdot 10^5 \text{ kJ/min} \end{array}$$

c)  $T = 50 \text{ min}$  bis  $t = 90 \text{ min}$

$$\dot{Q} \text{ (Reifen hinten)} = 4,02 \cdot 10^5 \text{ kJ/min}$$

• Ergänzende Rechnungen

Zur Berechnung der Energiefreisetzung sowie der mittleren Brandtemperatur (räumlich) wurden ergänzende Rechnungen mit dem Programm COMPF2 durchgeführt. COMPF2 /7/ ist ein Computer-Programm zur Berechnung der Brandwirkungen der post-flashover-Brandphase (Vollbrand) in einem Raum.

Die Temperatur im Brandraum wird anhand einer Wärmebilanz ermittelt. Folgende Energieterme sind darin enthalten:

- die pro Zeiteinheit durch Verbrennung im Brandraum freigesetzte Energie,
- die durch Gaswechsel (Wetterführung) entzogene Energie,
- die durch Konvektion und Strahlung an die Umfassungsbauteile abgegebene Energie,

- die durch Strahlung über Öffnungen an die Umgebung abgegebene Energie,
- die im Brandraum gespeicherte Energie.

Die zugehörige Gleichung der Massenbilanz im Brandraum ist durch

$$\dot{m}_{\text{Brandgas}} - (\dot{m}_{\text{Luft}} + \dot{R}) = 0 ; \dot{R} = \text{Abbrandrate}$$

gegeben.

Für die Berechnung der Brandwirkungen wurden folgende Eingangsgrößen verwendet:

- Streckenquerschnitt: Breite 6 m, Höhe 4,5 m
- Streckenlänge: 20 m (für die Wärmebilanz relevante Streckenlänge)
- Zeitlich konstanter Wetterstrom ( $\dot{V}_{\text{Luft}}$ ):
  - a) 23 m<sup>3</sup>/s
  - b) 34 m<sup>3</sup>/s,
- Thermodynamische Stoffdaten des umgebenden Gebirges /7/:

Dichte	2600 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit	1,5 W/mK
spezifische Wärmekapazität	1005 J/kgK
Emissionsgrad	0,94
- Abbrandrate (Öl und Reifen zusammen) als Funktion der Zeit:
  - a) t = 0 min bis t = 5 min  
 $\dot{R}(t = 0) = 0 \text{ kg/s}$ ;  $\dot{R}(t = 5 \text{ min}) = 0,85 \text{ kg/s}$   
(linearer Anstieg)

b)  $t > 5 \text{ min bis } t = 35 \text{ min}$

$$\dot{R} = 0,85 \text{ kg/s}$$

c)  $t > 35 \text{ min bis } t = 50 \text{ min}$

$$\dot{R} = 0,39 \text{ kg/s}$$

d)  $t > 50 \text{ min bis } t = 90 \text{ min}$

$$\dot{R} = 0,197 \text{ kg/s}$$

- Heizwert (Mittelwert für Öl und Reifen):

42.200 kJ/kg

- Emissionsgrad der Flamme:

0,9

Die Rechnungen haben gezeigt, daß der Brand zu allen Zeitpunkten "brandlastgesteuert" ist, das heißt, aufgrund des Wetterstromes ist immer ausreichend Sauerstoff für die Verbrennung der Pyrolysegase vorhanden. Die berechneten Temperatur-Zeit-Verläufe (mittlere Raumtemperaturen) sind in Bild 1 dargestellt. Zum Vergleich ist die GRS-Modellkurve mit aufgeführt. Der treppenförmige Temperaturverlauf ist bedingt durch die Vorgabe des zeitlichen Verlaufs der Abbrandrate in Verbindung mit den Modellannahmen im Rechenprogramm. Zu jedem Zeitpunkt wird die Temperatur im Brandraum, ausgehend von der Wärmebilanzgleichung neu ermittelt, wobei jeweils stationäre Verhältnisse vorausgesetzt werden.

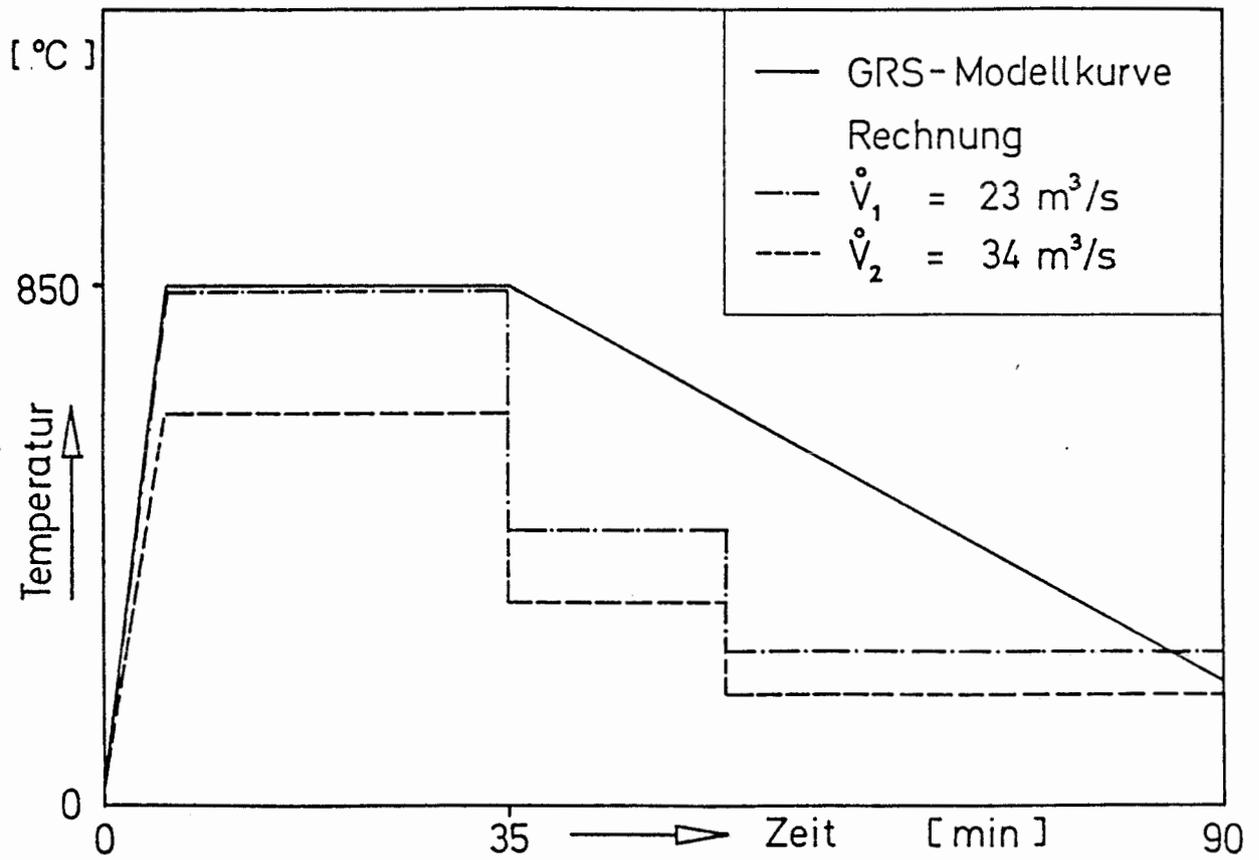


Bild 1: Vergleich zwischen rechnerisch ermittelten Temperaturkurven und GRS-Modellkurve

3. ZUSAMMENFASSUNG

Aus realistischen detaillierten Annahmen zum Brandverhalten der Öl- und Reifenbrandlasten eines Transportwagens wurden mit einem Wärmebilanzmodell mittlere Raumtemperaturen im Streckenabschnitt über der Zeit errechnet. Die ermittelten Ergebnisse sind kompatibel mit dem in /6/ als GRS-Modellkurve vorgeschlagenen Temperatur-Zeit-Verlauf.

- Zeit  $t = 0$  min bis  $t = 5$  min

Brandentstehungsphase, linearer Anstieg von  $30\text{ °C}$  auf  $850\text{ °C}$ .

- Zeit  $t > 5$  min bis  $t = 35$  min

Konstante Temperatur  $850\text{ °C}$ ; die Temperaturen werden im wesentlichen durch den Ölbrand bestimmt.

- Zeit  $t > 35$  min bis  $t = 90$  min

Linearer Abfall von  $850\text{ °C}$  auf  $200\text{ °C}$ ; diese Temperatur wird durch die noch brennenden Reifenreste bestimmt. Die Annahme der linearen Abnahme der Temperatur ist hinsichtlich der Lastfunktionen - allseitige Beaufschlagung der Abfallgebäude - sinnvoll, da einerseits die Brandintensität bei weiterhin konstantem Wetterstrom (Kühleffekt) abnimmt und andererseits durch die räumliche Anordnung der Reifen sowie durch Abschirmeffekte unmittelbare Brandwirkungen nur noch lokal auftreten können.

4. VERWENDETE UNTERLAGEN

- /1/ Einlagerung Abfallgebäude  
Leistungskatalog Konrad, Teilaufgabe 2225.03 Band 1,  
DBE, 09. April 1984
- /2/ Schreiben der PTB an GRS, SE 1 - Bg/Ts vom 23.05.1984

- /3/ Angaben der Firma Dunlop, SP Reifenwerke GmbH, zu Reifen der Größe 18.00-25 (vorne) und 21.00-35 (hinten)
  
- /4/ Brandausbreitung - Brandbekämpfung und Wetterführung in auf- und abwärts bewetterten Bandbergen und Untersuchungen von brand- und wettertechnischen Problemen in sonderbewetterten Strecken  
Schlußbericht Versuchsgrubengesellschaft mbH  
Westfälische Bergwerksgesellschaftskasse, Sept. 1985
  
- /5/ H. Eichmeyer, H. Wolff  
Untersuchung ausgewählter Störfälle im Bergbau  
Berlin, März 1984
  
- /6/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH  
Systemanalyse KONRAD, Teil 2  
GRS-A-1094, Mai 1985
  
- /7/ V. Babrauskas  
COMPF2 - A Program for Calculating Post-Flashover Fire Temperatures  
National Bureau of Standards  
Washington, June 1979
  
- /8/ Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Berechnungen zur thermischen Einwirkung von schwachwärmeeentwickelnden radioaktiven Abfällen auf das Wirtsgestein in der Schachtanlage Konrad  
PTB-SE-10, Februar 1986
  
- /9/ Endlager Schachtanlage Konrad  
Bewetterung; Aktualisierung der Teilaufgabe 243200;  
Planungsstand 8/1986  
Peine, September 1986