

# Quantitative Bewertung von Rettungswegen in Gebäuden

**T 2278**

T 2278

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**ARBEITSGEMEINSCHAFT  
BRANDSICHERHEIT**

**MÜNCHEN / KASSEL**

**Prof. Dr.-Ing. habil. U. Schneider  
Dr.-Ing. M. Kersken-Bradley  
Dr.-Ing. U. Max**

**Quantitative Bewertung von  
Rettungswegen in Gebäuden**

**Abschlußbericht**

**Oktober 1990**

**IfBt Az.: IV 1-5-554/88**

## Kurzfassung

Für bestehende Gebäude, die im Zuge von Sanierungen und/oder Nutzungsänderungen brandschutztechnisch nachgerüstet werden, insbesondere für denkmalgeschützte Gebäude sollte geprüft werden, inwiefern ein quantitatives Bewertungssystem geeignet ist, sinnvolle Ersatzlösungen bei den allfälligen Problemen der Nachrüstung zu beurteilen.

Gegenstand der Untersuchung war das NIST (ehem. NBS) Programm-System HAZARD I, das auf ein konkretes Beispiel (Gebäudeteil des Bezirkskrankenhauses Haar) angewendet wurde. HAZARD I besteht aus drei Systemteilen: Einem Brandausbreitungsmodell (FAST), einem Simulationsmodell zur Beschreibung des Personenverhaltens und einem Modell zur Beschreibung der Personengefährdung aufgrund von Temperatur und Rauchgasen.

Aufgrund des Brandausbreitungsmodells, das den zeitlichen Temperaturverlauf und die Entwicklung der Rauchsicht im Brandraum und den angrenzenden Räumen berechnet, kann der günstige Einfluß massiver Umfassungsbauteile, großer Raumhöhen und breiter Flure, wie sie bei Altbauten häufig anzutreffen sind, quantifiziert werden. Ebenso kann der Einfluß selbstschließender Türen und der Rauchabschnittsbildung verfolgt werden. Diese allgemeingültigen tendenziellen Ergebnisse wurden durch punktuelle Vergleichsrechnungen mit dem Brandausbreitungsmodell der Universität Kassel (MRFC) bestätigt.

Für eine Bewertung im Einzelfall ("A") besteht die Möglichkeit - ausgehend von einem Referenzfall ("B") - eine Bewertung im Bezug auf diesen Referenzfall vorzunehmen: "B" ist günstiger als oder vergleichbar mit "A". Auch angesichts erheblicher Modellunsicherheiten kann eine solche Bewertung als Grundlage für bauaufsichtliche Entscheidungen dienen. Ein solcher Referenzfall müßte bauaufsichtlich vorgegeben werden (Scenario, Gebäudegeometrie/-kenngrößen, Gefährdungsparameter).

Bezüglich der Modelle zur Beschreibung des Personenverhaltens wurde festgestellt, daß das vorgegebene Verhaltensmuster dem Gruppenverhalten von Familienangehörigen entspricht; daher ist eine unmittelbare Anwendung dieses Modells (in Verbindung mit dem Gefährdungsmodell) nur auf Wohngebäude sinnvoll. Eine Implementierung anderer Verhaltensmuster wäre möglich - mangels Datenbasis wären diese jedoch sehr subjektiv.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß HAZARD I hinsichtlich des Brandausbreitungsmodells für eine quantitative Bewertung zumindest in Verbindung mit Referenzfällen geeignet ist. Eine Erweiterung der Modellannahmen des Modells FAST um Interpretationsfehler zu vermeiden ist wünschenswert.

## Summary

The objective of this project was the following: To investigate, whether quantitative assessment systems are fit for judging compensative fire safety measures which may be required when renovating existing structures, in particular historic buildings, or in cases of change of use.

The investigation was performed with the NIST (former NBS) programm-system HAZARD I, performing a specific case study on part of a historic building within a regional hospital complex. HAZARD I includes three basic models: a fire propagation model, a simulation of occupant action, and a related tenability model.

The fire propagation model, which calculates the temperature and smoke layer development in the room of fire origin and adjacent rooms, identifies the favourable effect of a heavy enclosing structure, of high ceilings and broad corridors - common features in old buildings. the model also allows to persue the positive effect of automatically closing doors and of smoke compartmentation. These general tendencies are confirmed by selected comparative calculations with the fire code of the University of Kassel (MRFC).

An individual assessment of a case "A" is possible via comparison with a reference case "B" in terms of: "B" is more favourable of comparable with "A". This type of comparative assessment gives a reasonable basis for decision making by authorities, also considering the fair amount of model uncertainties involved. Such a reference case needs to be indentified by the authority in terms of fire scenario, geometrical data and parameters of building, and risk parameters.

The incorporated model within HAZARD I for occupant decision and action clearly simulates the behaviour of family members; therefore application of this model (including the tenability model) is limited to dwellings. Implementation of other behaviour patterns would be possible but, due to lack of data, would be very subjective.

Summarizingly it can be stated, that with regard to the fire propagation model, HAZARD I is fit for quantitative assessment at least in conjunction with reference cases. For avoiding errors in interpretation a further development of the FAST model assumptions is desirable.

## Résumé

Ce travail examine l'aptitude du système quantitative d'évaluation pour l'équipement supplémentaire des bâtiments existants qui est nécessaire en ce qui concerne la niveau de protection contre l'incendie en cas des travaux d'assainissement et des changements de mode d'exploitation. C'est important surtout pour les édifices qui sont classés monuments historiques.

Le sujet de la recherche était le système des programmes de NIST (la ancienne NBS) nommé HAZARD I en appliquant à un exemple d'édifice réel (un secteur de bâtiment de l'hôpital regional de Haar ). Le système HAZARD I est composé de trois parts: un modèle de propagation de l'incendie nommé FAST, un modèle de simulation pour décrire la manière d'agir des hommes et un modèle pour déterminer la risque des personnes par suite de temperature et des fumées.

On peut quantifier l'influence avantageuse des structures massives de local, des hauteurs grandes de local et des couloirs larges qui tous sont fréquentes dans des constructions anciennes en appliquant le modèle de propagation de l'incendie qui calcule le déroulement de la temperature et la développement de la couche de fumée dans le local de l'incendie et dans les locaux adjacents. Cet modèle rend possible aussi l'examination de l'influence des portes à fermeture automatique et du dégagement de fumée par sections. Des calculations de comparaison avec le modèle de propagation de l'incendie de l'université de Kassel nommé MRFC confirment cetttes tendances universellement reconnues.

En considérant le cas de référence nommé B comme une base des évaluations il est possible évaluer un cas singulaire nommé A par exemple: Le cas B est plus avantageux que ou comparable au cas A. Aussi eu égard aux incertitudes considérables de modèle on peut appliquer une telle évaluation comme une base pour des décisions de surveillance des travaux si tel cas de référence est normé par la surveillance des travaux concernant des scénarios, des dimensions de bâtiment, des caractéristiques de bâtiment et des caractéristiques de risque.

La manière d'agir des hommes qui est déterminée dans ces modèles s'accorde au type de manière d'agir du groupe des membres de famille. Autant dire que une application directe est valable seulement pour des bâtiments d'habitation. Une introduction des autres types de manière d'agir est possible en cas que une base suffisamment grande de l'informations personnelles est disponible.

En résumé on peut constater que le modèle de propagation de l'incendie de HAZARD I est apte à une évaluation quantitative du moins en relation avec des cas de référence. Pour éviter des erreurs d'interprétation un perfectionnement du modèle FAST est désirable.

## Gliederung

1.	AUFGABENSTELLUNG		4
2.	PROGRAMMBESCHREIBUNG		5
2.1	Datensystem		8
2.2	Thermodynamisches Modell		9
2.2.1	Allgemeines		9
2.2.2	Rechenprogramm FAST mit Hilfsprogrammen		11
2.3	Evakuierungsmodell EXITT und Bestimmung der Auslösezeiten von Wärme- und Rauchdetektoren		15
2.4	Modell zur Personengefährdung TENAB		18
3.	SIMULTIONSBEISPIELE DES "FIRE SCENARIO No. 3"		20
3.1	Beschreibung des Beispiels		20
3.2	Variante mit Stahlbetonwänden		21
3.3	Variante mit Deckenhöhe 3.40 m		21
3.4	Variante mit geöffneten Türen und Fenstern		22
3.5	Deckenhöhe 3.40 m und Stahlbetonwände		23
4.	BRANDSIMULATIONEN IM BEZIRKSKRANKENHAUS HAAR		24
4.1	Grundversion	(HAAR 1)	28
4.2	30 m Flurlänge	(HAAR 1A)	28
4.3	Brandraumtür geschlossen	(HAAR 2)	29
4.4	Simulation "Türöffnen"	(HAAR 3)	29
4.5	Simulation Türöffnen bei langem Flur	(HAAR 3A)	30
4.6	Raum 4 abgetrennt (Tür zu)	(HAAR 4)	30
4.7	Raum 4 abgetrennt mit langem Flur	(HAAR 4A)	30
4.8	wie 4.6 mit hohem Treppenhaus	(HAAR 5)	30
4.9	wie 4.6 mit langem Flur	(HAAR 5A)	31
4.10	zweigeschoßig mit Flur im OG	(HAAR 6)	31
4.11	zweigeschoßig mit langem Flur	(HAAR 6A)	32
4.12	Simulation "Fensteröffnen"	(HAAR 7)	32
4.13	wie 4.10 andere Sequenz Raum 1	(HAAR 71)	32
4.14	wie 4.10 mit langem Flur	(HAAR 7L)	33
4.15	zweigeschoßig, alle Verbindungstüren offen	(HAAR 81)	33
4.16	zweigeschoßig, mit langem Flur	(HAAR 8L)	33

5.	VEGLEICHSRECHNUNGEN MIT DEM RECHENPROGRAMM MRFC	34
5.1	Modellannahmen im Vergleich zu HAZARD I	34
5.2	Ergebnisse der Brandsimulation	36
5.2.1	Zweigeschossige Konfiguration mit Öffnungssequenz an Verbindungstüren (HAAR 71)	37
5.2.2	Zweigeschossige Konfiguration mit Öffnungssequenz an Verbindungstüren und langen Fluren (HAAR 7L)	38
5.2.1	Zweigeschossige Konfiguration mit offenen Verbindungstüren (HAAR 81)	38
5.2.2	Zweigeschossige Konfiguration mit offenen Verbindungstüren und langen Fluren (HAAR 8L)	39
5.2.5	Folgerungen aus der Vergleichsrechnung	39
6.	ERGEBNISSE DER RECHENPROGRAMME EXITT UND TENAB	40
7.	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	42
7.1	Ergebnisse der Brandsimulation	42
7.2	Brandsimulation im Einzelfall	43
7.3	Programmteile EXITT und TENAB	44
7.4	Folgerungen	44
8.	LITERATUR	46

#### ANHANG

A.1	AUSZUGSWEISE BESCHREIBUNG DER PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN DES MODELLS M R F C
A.1.1	Modellannahmen
A.1.2	Massenbilanzen und Massenströme
A.1.2.1	Abbrandmodelle
A.1.3	Energiebilanzen und Energieströme
A.1.4	Beurteilung der Rauchausbreitung in Flucht- und Rettungswegen
A.1.4.1	Bestimmung der Gaszusammensetzung
A.1.4.2	Bestimmung der Sichtweite in den einzelnen Gasschichten

#### ANLAGE

B.1	Ergebnisse FAST zu 3.
B.2	Ergebnisse FAST zu 4.
B.3	Ergebnisse MRFC zu 5.
B.4	Ergebnisse EXITT und TENAB zu 6.

## 1. AUFGABENSTELLUNG

Für bestehende Gebäude, die im Zuge von Sanierungen und/oder Nutzungsänderungen brandschutztechnisch nachgerüstet werden sollen, insbesondere für denkmalgeschützte Gebäude soll geprüft werden, inwiefern ein rechnergestütztes Bewertungssystem geeignet ist, sinnvolle Ersatzlösungen bei den allfälligen Problemen der Nachrüstung zu finden bzw. diese zu beurteilen. Dabei sind naturgemäß die bauaufsichtlichen Belange ebenso zu berücksichtigen wie auch die Vorgaben der Nutzer der Gebäude.

Die vorliegende Untersuchung bezieht sich auf das Bezirkskrankenhaus (BKH) Haar, das unter Ensemble-Schutz steht und sukzessive modernisiert wird. Die räumlichen Gegebenheiten innerhalb der Gebäude sind vergleichbar mit jenen eines größeren 1- oder 2-Familienhauses; insofern sind die räumlichen Gegebenheiten ähnlich jenen, für welche die Modelle des Programmpaketes HAZARD erstellt wurden. Dieses Programmpaket soll im folgenden zur Anwendung kommen. Insbesondere sollen dabei

- Erfahrungen über eine rechnergestützte Brandschutzbeurteilung in komplexen Gebäuden - insbesondere der Flucht- und Rettungswege - gesammelt werden,
- alle relevanten Informationen hinsichtlich Brandausbreitung, Fluchtverlauf und Personengefährdung so beschrieben werden, daß die maßgebenden Parameter allgemein erkennbar sind,
- mögliche Verallgemeinerungen hinsichtlich einer Unterstützung der bauaufsichtlichen Beurteilung durch Rechenmodelle für Gebäude ähnlicher Art und Nutzung aufgezeigt werden,
- mögliche Anwendungsgrenzen für die Anwendung des Programmpaketes HAZARD ermittelt werden.

Die Arbeit ist als ein erster Schritt in Richtung eines rechnergestützten bauaufsichtlichen Bewertungssystems zur Beurteilung der Flucht- und Rettungswege in öffentlichen Gebäuden zu verstehen, wobei zunächst nur Brandabschnitte mit kleineren Abmessungen betrachtet werden. Großräumige Abschnitte werden im Rahmen anderer Forschungsvorhaben untersucht, wobei auch andere Programmpakete zur Anwendung kommen.

## **2. BESCHREIBUNG DES PROGRAMMPAKETES HAZARD I**

Die wesentlichen Elemente des Programmpaketes HAZARD können Bild 2.1 entnommen werden. Dieses Paket umfaßt folgende Systeme:

- Datensystem zur Vorbereitung der Eingabedaten
  - FIREDATA - Eigenschaften brennbarer Stoffe
  - MULTFUEL - Erstellung des Verlaufes der Abbrandrate, wenn mehrere brennbare Stoffe vorhanden sind
  
- Brandausbreitungsmodell mit Hilfsprogrammen
  - FASTIN - Erstellung der Eingabedaten für FAST
  - FAST - thermodynamisches Ausbreitungsmodell
  - FASTPLOT - Darstellung der Ergebnisse der Simulation aus den Modulen FAST und TENAB
  
- Modell DETACT zur Bestimmung der Auslösezeiten für Rauchmelder
  
- Simulationsmodell EXITT zur Beschreibung des Verhaltens der Bewohner im Brandfall
  
- Bewertungsmodell TENAB zur Beschreibung der Personengefährdung aufgrund von Temperatur- und Rauchgasbelastung

Zwischen den einzelnen Modulen besteht teilweise über gemeinsam genutzte Dateien für die erforderlichen Daten ein automatischer Datentransfer. Dies gilt für die Module des thermodynamischen Modells sowie die Modelle EXITT und TENAB. Die restlichen Programme sind Hilfsprogramme, deren Ergebnisse vom Anwender an die entsprechenden anderen Programme über Dateneingabe weitergegeben werden müssen.

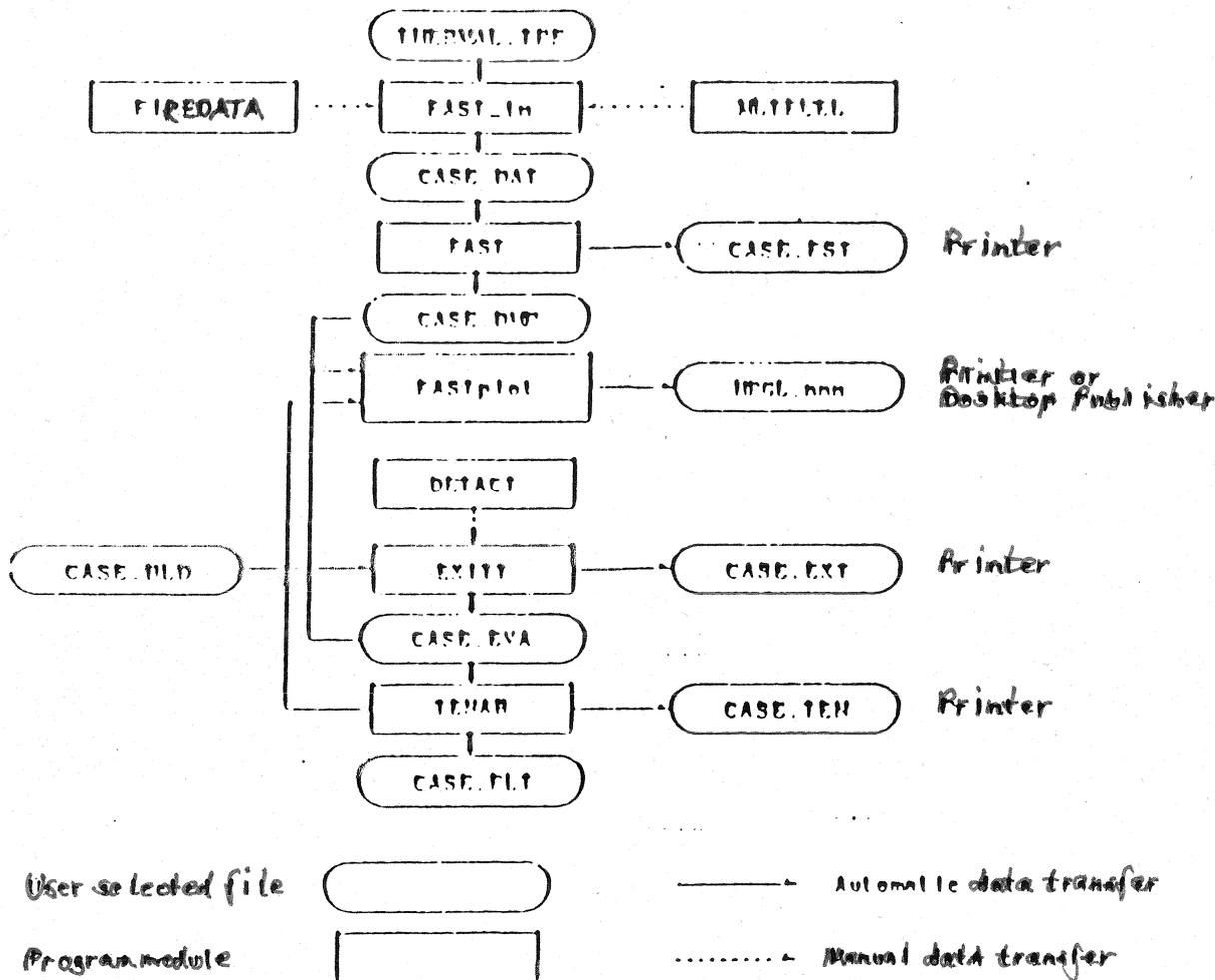


Bild 2.1: Struktur der einzelnen Programmteile und Datenfluß für das Softwarepaket HAZARD I

Dazu ist eine Verzahnung der Modelle über gemeinsam genutzte Dateien erforderlich. In Bild 2.1 sind mit den abgerundeten Rechtecken Datendateien dargestellt. Sie sind entweder Eingabefiles, Datenbasisfiles, interne Datenübergabefiles oder aber Ergebnisfiles für eine Ausgabe auf Plotter oder Drucker. Eingabefiles, die vom Benutzer erzeugt werden müssen sind :

- CASE.DAT - Daten für das thermodynamische Modell FAST, die mit FAST—in erzeugt werden können
- CASE.BLD - Daten für EXITT, mit der Beschreibung der Weglängen für das Evakuierungsmodell sowie der Daten der Bewohner bei Brandbeginn

Datenbasisfile ist

- THERMAL.TPF - thermodynamische Eigenschaften der Bauteile für das Modell FAST

Interne Datenübergabefiles für einen Datenaustausch zwischen den einzelnen Bestandteilen des Softwarepaketes sind:

- CASE.DMP - Ergebnisse von FAST zur graphischen Darstellung mit FASTPLOT sowie zur Weiterverwendung in EXITT und TENAB
- CASE.EVA - Ergebnisse von EXITT zur Weiterverwendung in TENAB
- CASE.PLT - Ergebnisse von TENAB zur graphischen Darstellung mit FASTPLOT

Ergebnisfiles für eine Ausgabe auf Plotter oder Drucker sind

- CASE.FST - Ergebnisse von FAST
- CASE.EXT - Ergebnisse von EXITT
- CASE.TEN - Ergebnisse von TENAB
- HPGL.nnn - Plott von FASTPLOT zur Weiterverwendung in einem grafikfähigen Textverarbeitungsprogramm

Im folgenden sollen die wesentlichen Elemente und Anwendungsgrenzen der einzelnen Teile beschrieben werden. Dabei werden die Aspekte erläutert, die für eine Bewertung der praktischen Anwendbarkeit von besonderem Interesse sind.

## 2.1 Datensystem

Mit dem Datensystem, das aus einer Sammlung von Dateien für die Abspeicherung bestimmter Eigenschaften besteht, können die für das thermodynamische Modell FAST erforderlichen Eingabedaten auf einfache und benutzerfreundliche Art und Weise bereitgestellt werden. Das gilt vor allem für die für weniger erfahrene Nutzer meist schwer zu bestimmenden Größen für die Beschreibung der thermodynamischen Eigenschaften der Bauteile und der brennbaren Stoffe sowie deren Abbrandverhalten.

Das Modul FIREDATA ist ein vereinfachtes Datenbanksystem, in dem die erforderlichen Informationen für das Programmpaket HAZARD verwaltet werden. Dabei werden 5 Datenbasen behandelt, in denen die Daten für die physikalischen Eigenschaften, für Versuchsergebnisse aus dem Cone Calorimeter und dem Furniture Calorimeter sowie für die Produktion von toxischen Produkten abgespeichert sind. Die Versuchsergebnisse stammen dabei aus Versuchen in kleinen Anlagen im Labormaßstab bei freiem Abbrand, also ohne Berücksichtigung von Öffnungen. Für die Anwendung im Rahmen einer Berechnung mit dem Rechenprogramm FAST bei relativ großen Gebäuden besteht dabei die Schwierigkeit, diese Daten auf eine größere Geometrie und dazu noch unter Berücksichtigung der für die Verbrennung zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge zu transformieren.

Mit dem Rechenprogramm MLTFUEL kann der Verlauf der Abbrandrate bestimmt werden, wenn mehrere Gegenstände am Brandgeschehen beteiligt sind. Dazu müssen die Daten für jeden einzelnen Gegenstand von Hand eingegeben werden. Es können allerdings die Werte aus der Datenbasis zu FIREDATA verwendet werden. Dabei wird angenommen, daß alle Gegenstände unbeeinflusst von den anderen genauso wie beim Versuch in der Laboranlage abbrennen. Diese Annahme liegt sicher nicht immer auf der sicheren Seite, denn durch die Aufheizung des Brandraumes wird das Abbrandverhalten vor allem durch die Wärmestrahlung eines brennbaren Gegenstandes verändert.

Die genaue Vorgabe der Abbrandrate über die gesamte Branddauer ist erforderlich, weil mit dem Programmpaket HAZARD und dem darin enthaltenen thermodynamischen Modell FAST diese Form der Bestimmung der Abbrandrate und damit auch der Energiefreisetzung als einziges Abbrandmodell verarbeitet werden kann. Dabei wird bewußt auf die Verwendung von bekannten Abbrandmodellen verzichtet, weil diese nach Ansicht der Autoren nicht genügend abgesichert sind.

## 2.2 Thermodynamisches Modell

### 2.2.1 Allgemeines

Das thermodynamische Modell FAST berechnet die Wirkungen eines natürlichen Brandes hinsichtlich der Temperatur- und Rauchgasentwicklungen. durch Rauchgasprodukte. Dabei wird die Methode der Mehrraum-Mehrzonenmodelle verwendet, die sich in der Vergangenheit als eine praktische und im allgemeinen aussagekräftige Methode für die Bewertung von Brandrisiken erwiesen hat. Im Rahmen der Brandschutzforschung wurden dabei in mehreren Ländern zuerst für einzelne Räume und später für Mehrraumkonfigurationen Simulationsmodelle entwickelt, die von der vereinfachten physikalischen Beschreibung der Brandphänome ausgehen. Dabei wird für die Gase in den Räumen angenommen, daß sie innerhalb eines oder zweier Kontrollvolumen homogen sind, sowohl im Hinblick auf die Temperatur als auch auf die Zusammensetzung der verschiedenen Gaskomponenten.

Mit den Prinzipien dieser Methode wurden international mehrere Programme entwickelt z. B. CFC der Harvard Entwicklungen ( FIRST / 12 , 13 /, CFC VI / 8 / ), BRI2 von Tanaka / 23 / und erst vor kurzem CCFM von Cooper und Forney / 4 / . National wurden etwa gleichzeitig die Modelle DOB und FIGARO / 6 / an der TU Braunschweig sowie das Rechenprogramm MRFC an der Gesamthochschule Kassel / 11 , 20 / erstellt. Das im vorliegenden Softwarepaket HAZARD I integrierte Programm FAST wurde aus dem Modell von Tanaka weiterentwickelt und für einen praktischen Einsatz aufbereitet. Neben den Zonenmodellen wurden in der Vergangenheit auch Feldmodelle entwickelt, bei denen der Raum in eine Vielzahl von Kontrollvolumina aufgeteilt wird /10 /. Durch Lösung der Feldgleichungen werden ebenfalls die Strömung und eine Vielzahl von Temperaturen im Raum berechnet. Das Verfahren ist aber wesentlich umfangreicher und daher für eine praktische Anwendung nur in wenigen Sonderfällen geeignet.

Inzwischen wurden die meisten Zonenmodelle auch experimentell überprüft. Damit ist ihre Anwendbarkeit partiell nachgewiesen. Allerdings besteht prinzipiell die Schwierigkeit, Versuche in einem ausreichenden Umfang durchzuführen, so daß man von einer Allgemeingültigkeit im augenblicklichen Stand der Entwicklung noch nicht sprechen kann. Für die amerikanischen Modelle sind einige Versuche und Vergleichsrechnungen durchgeführt worden, die in der Größenordnung von kleineren Wohnhäusern angesiedelt sind / 2 , 16 /. Die deutschen Programme wurden im Rahmen von umfangreichen Versuchsserien in einem Forschungsreaktor weiterentwickelt und experimentell überprüft / 6 , 19 /. Bei einem Vergleich mit anderen thermodynamischen Modellen zeigte sich dabei, daß die Informationen, die von den Zonenmodellen geliefert werden, in einer ausreichenden Genauigkeit für praktische Anwendungen liegen und im allgemeinen einem Vergleich mit aufwendigeren Methoden standhalten.

Bei Zonenmodellen werden die unbekanntes Größen für die Temperaturen und Gaszusammensetzung in den einzelnen Räumen sowie für die Massen- und Energieströme zwischen den einzelnen Räumen und der Umgebung bei einer Mehrraumgeometrie aus den Prinzipien der Erhaltung von Masse und Energie ermittelt. Für die Bestimmung der Massenströme werden die Modellannahmen für eine Homogenität der einzelnen Gaskörper im Zusammenhang mit Referenzdruckverteilungen ausgenutzt. Für Einmischeffekte z.B. an der aufsteigenden Rauchgassäule über dem Brandherd sowie bei der Einströmung in Nachbarräume werden empirische Beziehungen verwendet, die aus Versuchen ermittelt wurden. Für die Bestimmung der Abbrandrate, also der pro Zeiteinheit am Brandherd verbrennenden Menge an Brandgut, werden unterschiedliche Modelle verwendet, die entweder aus Versuchen ermittelt wurden / 2 / und/oder durch Modellannahmen / 14 / teilweise auch in Rückkopplung zum Brandgeschehen jeweils vom Programm bestimmt werden / 18 /. In allen Modellen ist die Vorgabe der Abbrandrate enthalten. Für die Bestimmung der entstehenden Rauchgase werden ebenfalls entweder Modelle verwendet / 11 , 23 / bei denen die augenblickliche Brandsituation und da vor allem die Menge des zur Verfügung stehenden Sauerstoffes berücksichtigt wird oder es muß jeweils die Produktion in Abhängigkeit von der Abbrandrate vorgegeben werden.

Die erwähnten Modelle unterscheiden sich teilweise durch differenzierte Betrachtungsweisen bei der Modellierung der einzelnen Räume. Auch die Anzahl von berücksichtigten Sondereffekten ist unterschiedlich. Beispielsweise wird bei einigen Modellen die horizontale Ausbreitung der Rauchgase innerhalb des Raumes zum Teil berücksichtigt, während andere Modelle davon ausgehen, daß nur eine Ausbreitung der entstehenden Heißgasschicht von der Decke in Richtung auf den Fußboden stattfindet. Bei der Betrachtung von kleinen Räumen ist dieser Effekt meist vernachlässigbar, während er bei sehr großen Hallen, vor allem bei der Betrachtung von Problemen im Zusammenhang mit der Rettung von Personen in der Brandentstehungsphase, von größerer Bedeutung sein kann. Ähnliches gilt auch für die Berücksichtigung von Einmischeffekten an Öffnungen, die nicht in allen Modellen enthalten sind. Weitere Unterschiede liegen in der Anzahl der in den Modellen enthaltenen Abbrandmodelle und der berücksichtigten Rauchgaskomponenten. Auch die Lösung der Massen- und Energiebilanzen, die im wesentlichen das nichtlineare Differentialgleichungssystem aller Modelle bilden, erfolgt durch verschiedene Verfahren. Teilweise werden die Runge-Kutta Methode oder Prädiktor-Korrektor Verfahren verwendet, teilweise erfolgt aber auch eine direkte oder entkoppelte Lösung des Gleichungssystems.

## 2.2.2 Rechenprogramm FAST mit Hilfsprogrammen

Aus Bild 2.1 geht die zentrale Rolle des Modells FAST im Softwarepaket HAZARD I hervor. Mit ihm werden die Temperaturen und Gaszusammensetzungen in jeder Gas-schicht sowie die Strahlung zwischen den einzelnen Bauteilen und Gaskörpern inner-halb eines Raumes bestimmt. Damit sind die wesentlichen Einwirkungen auf Personen bekannt, die sich während eines Brandes im Gebäude aufhalten. Die Hilfsprogramme FAST-in und FASTPLOT dienen der benutzerfreundlichen Dateneingabe bzw. der Darstellung der Ergebnisse für das eigentliche Modell. Mit FASTPLOT können auch die Ergebnisse des Modells TENAB für die Bestimmung der Auswirkungen auf Personen dargestellt werden.

Zur Lösung des Differentialgleichungssystems wird bei FAST eine Prädiktor-Korrektor Methode verwendet. Dabei wird für die unbekanntenen Größen eines jeden Raumes, der in zwei Kontrollvolumina aufgeteilt wird, jeweils ein Schätzwert ermittelt (Prädik-tor), der dann durch ein Korrekturglied (Korrektor) in einem Iterationsverfahren solange verbessert wird, bis die gesuchte Lösung gefunden ist. Die unbekanntenen Größen für jeden Raum sind:

- Temperatur der Heißgasschicht ( obere Schicht )
- Temperatur der Kaltgasschicht ( untere Schicht )
- Volumen der Heißgasschicht
- Referenzdruck am Fußboden

Die physikalischen Vorgänge werden dabei als Quellterme in den Gleichungen ver-wendet. Für die Modellierung werden folgende Annahmen und Vereinfachungen getroffen:

### - Strahlung

Für die Strahlung des Feuers wird angenommen, daß die Flammen als Punktquelle wirken. Die Energieabgabe an die Heißgasschicht wird dabei als konstanter Anteil der freigesetzten Energie vorausgesetzt, wobei die geometrische Lage der Punkt-quelle berücksichtigt bleibt. Für die Strahlungsberechnung zwischen den Bauteilen und der Heißgasschicht wird eine Näherungsmethode verwendet, bei der angenommen wird, daß ein Strahlungsaustausch zwischen zwei Platten ( Decke und obere Wände sowie Fußboden und untere Wände ) und der dazwischen liegenden Gasschicht erfolgt. Strahlung durch Öffnungen wird ebenfalls berücksichtigt, in den angrenzenden Räumen aber nicht mehr weiterverfolgt.

### - Konvektiver Wärmeübergang

Berücksichtigt werden der konvektive Wärmeaustausch zwischen den Gasschichten und den Bauteilen sowie der Wärmetransport mit den strömenden Gasen über Öffnungen. Für den Wärmeaustausch an Bauteilen wird dabei ein in der Brandforschung als Stand des Wissens angesehenes Verfahren verwendet, das allerdings für Gase in ruhenden Systemen ohne zusätzliche Zu- oder Abfuhr von Gasen abgeleitet wurde. Durch Annahme von veränderten Koeffizienten soll dies kompensiert werden. Die konvektive Wärme, die mit den strömenden Gasen transportiert wird, entspricht deren spezifischem Energiegehalt und der Menge der transportierten Gase.

### - Wärmeleitung

Die konvektive Wärme, die an der Grenzschicht zwischen Bauteilen und Gasen übertragen wird, gelangt durch Leitung in die Bauteile und dann u. U. wieder in den angrenzenden Raum oder in die Umgebung. In den Bauteilen wird der instationäre Fall der Wärmeleitung in eindimensionaler Richtung angenommen. Durch Entkopplung der orts- und zeitabhängigen Größen wird die partielle Differentialgleichung nach dem Crank-Nickolson Verfahren numerisch gelöst. Die physikalischen Eigenschaften des Bauteilmaterials bleiben über die Simulationszeit konstant, wobei ein mehrschichtiger Bauteilaufbau möglich ist. Als Randbedingungen werden für innen der Wärmestrom durch Wärmeübergang infolge Strahlung und Konvektion und für außen konstante Umgebungsbedingungen verwendet.

### - Massenströme

Es können nur Ströme durch vertikale rechteckige Öffnungen behandelt werden. Ströme durch horizontale Öffnungen und Schächte mit mechanischer Förderung können vom Modell zur Zeit nicht berücksichtigt werden. Die Massenströme zwischen zwei Räumen oder zwischen einem Raum und der Umgebung werden aus den Modellannahmen gemäß den Druckverteilungen über die Raumhöhe ermittelt. Dabei werden jeweils Teilbereiche betrachtet, in denen die Gase auf beiden Seiten der Öffnung eine einheitliche Temperatur und damit nach dem verwendeten allgemeinen Gasgesetz auch eine einheitliche Dichte aufweisen. Dabei treten maximal 3 neutrale Ebenen auf, in denen der Druck auf beiden Seiten der Öffnung gleich ist. Zwischen den neutralen Ebenen haben die Massenströme jeweils die gleiche Richtung. Auf der Ebene kehrt sich diese um. Dadurch können 44 verschiedene Strömungskonfigurationen auftreten, die von der Lage der Öffnungsgrenzen und der Lage der Schichtgrenzen zwischen heißer und kalter Gasschicht abhängig sind.

Die Zielpunkte der Teilmassenströme sind mit zwei Ausnahmen generell so, daß Rauchgase aus der oberen Schicht wieder in die obere Schicht des Zielraumes strömen, während kalte Gase aus der unteren Schicht in der unteren Schicht des

Zielraumes enden. Die Ausnahmen liegen vor, wenn die obere Schicht des Ausgangsraumes eine niedrigere Temperatur aufweist als die untere Schicht des Zielraumes oder die untere Schicht des Ausgangsraumes wärmer ist als die obere Schicht des Zielraumes. In diesen Fällen enden alle Massenströme in der unteren Schicht bzw. in der oberen Schicht des Zielraumes.

In allen Fällen kann ein Strom zuerst durch die abliegende Schicht strömen, bevor er die bestimmte Schicht erreicht. Dann werden Gase aus der durchströmten Schicht in die Zielschicht eingemischt. Die Bestimmung der Größe dieses Massenstromes erfolgt nach der Plumeanalogie. Dabei wird die Geometrie und das Energiepotential der strömenden Gase berücksichtigt.

Im Verlauf des Brandes kann die Breite der Öffnungen variiert werden. Damit kann z. B. das Öffnen und Schließen von Türen oder Fenstern simuliert werden. In diesem Fall ist für jeden Zeitpunkt der Veränderung an der Öffnung und an den Stützstellen für die Abbrandrate vorzugeben, um welchen Faktor sich die Breite der Öffnung und damit auch alle Massenströme durch diese Öffnung verändern.

Die Größe der Massenströme zwischen der Umgebung und einem Raum des Systems hängt von den Druckverhältnissen in der Umgebung und dabei im besonderen vom Luftdruck, der Umgebungstemperatur und den Einwirkungen durch Wind ab. Dabei wird die Verteilung der Windgeschwindigkeit über die Höhe berücksichtigt.

#### Abbrandvorgänge:

Die Bestimmung der Abbrandrate erfolgt ausschließlich durch Interpolation zwischen vorgegebenen Stützstellen. Die Anzahl der Stützstellen hängt ab von der Anzahl der Punkte im Verlauf der zeitlichen Entwicklung der Abbrandrate und der Anzahl der Zeitpunkte an denen die Ventilation verändert wird. Zu ihrer Ermittlung können die Hilfsmittel FIREDATA und MLTFUEL benutzt werden. Als Ausgangspunkt für die Bestimmung werden wie bereits erwähnt Laborversuche verwendet, die dann auf größere Brände übertragen werden müssen, wobei als zusätzliche Einflußgröße vor allem das für die Verbrennung zur Verfügung stehende Sauerstoffangebot hinzu kommt. An dieser Stelle wird die Erfahrung des Anwenders von großer Bedeutung für die wesentlichen Rechenergebnisse und damit auch für die Folgerungen im Hinblick auf die praktische Umsetzung.

Noch größer wird der Einfluß der Eingabedaten auf die Ergebnisse hinsichtlich der Aussagen zur Zusammensetzung und der optischen Rauchdichte der einzelnen Gas-schichten. Es müssen für jeden Zeitpunkt, zu dem eine Stützstelle für die Abbrandrate eingegeben wird, auch Vorgaben zur Entstehung der Verbrennungsprodukte gemacht werden. Diese betreffen im einzelnen:

- Verhältnis von Blausäure, Salzsäure und der toxischen Produkte zur Abbrandrate
- Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff im Brennstoff
- Verhältnis von Kohlenstoff und Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid.

Außer dem Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff im Brennstoff müssen dabei wesentliche Parameter vorgegeben werden, die sehr stark vom Brandgeschehen selbst abhängen, also wünschenswerterweise ein Ergebnis der Simulation sein sollten. Das Sauerstoffangebot wird dadurch berücksichtigt, daß bis zu einer vorgegebenen Grenze eine Verbrennung stattfindet. Wird eine größere Menge an Brennstoff umgesetzt, so werden Kohlenwasserstoffe gebildet, die mit den ausströmenden Gasen weitertransportiert werden. An der Öffnung wird überprüft, ob eine Verbrennung dieser Stoffe möglich ist. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot findet nun eine Verbrennung bis zum vorgesehenen Maß vor. Die restlichen Stoffe werden dann wieder in den nächsten Raum transportiert und dort u. U. verbrannt.

Durch dieses Verfahren bedingt, kann bei der Betrachtung einiger Ergebnisse festgestellt werden, daß im ursprünglichen Brandraum zwar die Pyrolyse ( $\dot{m}_p$ ) des Brandgutes stattfindet, die Energiefreisetzung ( $\dot{Q}_f$ ) aber u. U. erst im nächsten oder übernächsten Raum erfolgt. Dadurch sinkt die Temperatur im Brandraum unter die Temperaturen in den Nachbarräumen ab.

Die chemische Umsetzung der Verbrennungsprodukte erfolgt dann in der vorgegebenen Weise, wobei für die toxischen Stoffe sowie die Rußproduktion die eingegebenen Verhältniszahlen verwendet werden. Dadurch werden natürlich die Ergebnisse hinsichtlich der Gaszusammensetzung und der Sichtweitenbestimmung sehr stark von den Eingabewerten und damit von der Erfahrung des Anwenders abhängig. Eine Beurteilung und Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse ist daher unerlässlich. Gegebenenfalls ist die Berechnung mit modifizierten Vorgabewerten mehrmals zu wiederholen.

Im Verlauf des hier vorliegenden Forschungsprojektes wurde dies nicht gemacht, weil ein größerer Wert auf die Aussagen hinsichtlich der Temperatur- und Schichthöhenentwicklung gelegt wurde, die weitgehend unabhängig von der Gaszusammensetzung sind.

Auf eine Bestimmung der Gaszusammensetzung kann auch verzichtet werden. In diesem Fall wird eine vollständige Verbrennung des pyrolysierten Brennstoffes ohne Kontrolle des Sauerstoffangebotes durchgeführt. In diesem Fall sind dann auch keine Aussagen zur Gaszusammensetzung und der Sichtweitenentwicklung möglich. Für eine weitergehende Entwicklung wäre daher die Erarbeitung von weitgehend anwenderunabhängigen Abbrandmodellen wünschenswert.

### **2.3 Evakuierungsmodell EXITT und Bestimmung der Auslösezeiten von Wärme- und Rauchdetektoren DETACT**

Mit dem Modell EXITT wird das Verhalten von Bewohnern simuliert, die sich in einem Haus aufhalten, in dem ein Brand stattfindet. Dabei werden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Eigenschaften der Bewohner hinsichtlich
  - Alter
  - Geschlecht
  - Laufgeschwindigkeit
  - Hilfsbedürftigkeit
  - wach oder schlafend
  - u. U. erforderlicher Lautstärkenpegel zum Erwachen
  - Aufenthaltsort innerhalb des Gebäudes
  
- Verrauchung und Sichtweite der einzelnen Räume des Gebäudes.

Die Eigenschaften der Besucher müssen in einer separaten Datei (CASE.BLD in Bild 2.1) zusammen mit einer weitergehenden Beschreibung des Gebäudes und der darin befindlichen Alarmierungseinrichtung vom Anwender dem Modell zur Verfügung gestellt werden. Die Verrauchung des Gebäudes wird aus der Ergebnisdatei von FAST (CASE.DMP in Bild 2.1) übernommen, der für eine Berechnung mit EXITT unabdingbar vorhanden sein muß.

Zu Brandbeginn wird angenommen, daß niemand vom Brand informiert ist. Die Zeit bis zur Branderkennung für jede Person und dem Start der ersten Aktion hängt ab von:

- einer fest vorgegebenen Verzögerungszeit von 70 s
- der Lautstärke des Rauchmelders am Aufenthaltsort
- dem Untergrundgeräuschpegel
- der Wahrnehmungsfähigkeit von Rauch
- der Verzögerungszeit bis zum Aufwachen.

Nach Branderkennung wird nach bestimmten Verhaltensregeln, die von der Eigenschaft der Personen und den wahrnehmbaren Einflüssen des Rauches abhängen, vorgegangen. Für jeden Zeitschritt wird eine Entscheidung getroffen, ob die begonnene Aktion beendet wird oder eine neue Aktion gestartet wird. Dabei gelten im allgemeinen folgende Prioritäten:

- Bewohnern im gleichen Raum helfen
- Bewohnern in anderen Räumen helfen
- Untersuchung des Brandes
- das Gebäude verlassen.

Für alle "erwachsenen" Personen über 10 Jahre gilt diese Reihenfolge der Entscheidungsfindung. Für jüngere wird sie eingeschränkt und Babys unternehmen keine selbständigen Aktionen.

Die Route bis zum Verlassen des Gebäudes oder dem Erreichen einer hilfebedürftigen Person wird nach der Methode der kürzesten Entfernung bestimmt. Dabei wird eine Verlängerung der zurückzulegenden Strecke angenommen,

- von 100 m, wenn ein Erwachsener versucht, das Gebäude durch ein Fenster zu verlassen,
- von unendlich bei einem Kind,
- von 200 m, wenn ein Erwachsener auf der Route durch stark verrauchte Bereiche gehen muß.

Für Kinder sind Türen blockiert, sie müssen warten, bis ein Erwachsener vorbeikommt, dem sie dann folgen. Unpassierbare Verbindungen sind blockiert. Die Gesamtzeit für das Erreichen eines sicheren Ausganges setzt sich insgesamt zusammen aus

- Verzögerungszeiten (z. B. bis zur Branderkennung, Entschlußzeiten und Zeiten zur Hilfe von anderen Personen).
- Bewegungszeiten, bei denen unterschiedliche Gehgeschwindigkeiten unterstellt werden.

Im Gebäude können bis zu 10 unabhängige Rauchmelder berücksichtigt werden. Ihre Lautstärke an jedem verwendeten Knotenpunkt ist vorzugeben. Die Zeit bis zur Auslösung wird entweder vorgegeben oder von EXITT bestimmt. Die Ermittlung der Auslösezeit kann dabei mit dem Modul DETACT erfolgen und dann als Eingabe verwendet werden. Eine automatische Aktivierung durch EXITT erfolgt, wenn die Rauchdichte mindestens  $0,015 \text{ m}^{-1}$  beträgt bei einer Mindestdicke der Schicht von 15 cm.

Die Brandmeldung kann mit dem Programm DETACT erfolgen. Für Temperaturmelder wird entweder eine vorgegebene Temperatur oder eine -änderung verwendet. Dabei wird nach Bränden unterschieden, bei denen die Abbrandrate entweder quadratisch mit der Zeit oder in einer allgemeinen Form anwächst. Für die Berechnung sind vorzugeben:

- Umgebungstemperatur
- Ansprechtemperatur oder -differenz
- Index für die Ansprechzeit (RTI)
- Abstand Decke zu Brandherd
- radialer Abstand von Plumeachse

- Zunahme der Energiefreisetzung  $\alpha$  [J/s] bei quadratisch anwachsender Abbrandrate
- zeitlicher Verlauf der Energiefreisetzung als Wertepaare bei sonstigen Bränden.

Es werden vom Modell jeweils empirisch ermittelte Korrelationen für die Bestimmung der Temperatur und der Strömungsgeschwindigkeit der Heißgase am Melder unter Verwendung der Ceiling Jet Theorie verwendet.

Bei der Verwendung eines Rauchmelders wird ein Ähnlichkeitsgesetz für die Beziehung zwischen Rauchdichte und Rauchgastemperatur verwendet. Damit wird der Rauchmelder als "Niedertemperaturmelder" aufgefaßt, der ohne Verzögerungszeit anspricht.

## 2.4 Modell zur Personengefährdung TENAB

Nachdem die Berechnungen mit FAST und EXITT durchgeführt sind, können in einem letzten Schritt die Auswirkungen auf die Personen bestimmt werden, die sich während des Brandes im Gebäude befinden. Mit dem Programm TENAB werden dazu die Einwirkungen auf die Personen durch Hitze, Strahlung sowie toxische Stoffe bestimmt. Mit Hilfe von kombinierten Kriterien wird überprüft, ob die entsprechenden Personen im Verlauf des Brandes unfähig werden, sich selbst zu retten oder gar sterben.

Aus den Ergebnisfiles von FAST (CASE.DMP in Bild 2.1) und EXITT (CASE.EVA) werden dabei unterschiedliche Dosen berechnet, die die Personen während des Brandes und der Evakuierung erhalten. Die Zeitpunkte und die Ursache, zu denen die Rettungsunfähigkeit oder der Tod nach den vorgegebenen Kriterien eintreten, werden im Ergebnisfile (CASE.TEN in Bild 2.1) ausgegeben. Dieser File kann auf dem Drucker ausgegeben oder am Bildschirm betrachtet werden. Zusätzlich wird ein File erstellt, mit dem unter Verwendung von FASTPLOT die Ergebnisse grafisch dargestellt werden können (CASE.PLT). Zu den Zeitpunkten und dem Simulationsende werden jeweils die Zeitintegrale für 3 Belastungen durch schädliche Gase, für zwei Temperatur-, für eine Strahlungs- und eine toxische Belastung angegeben. Bei den Belastungen durch Gase werden unterschiedliche Gaskomponenten nach verschiedenen Verfahren berücksichtigt. Diese sind Kohlenmono- und -dioxid, Blausäure sowie die Sauerstoffkonzentration in den durchquerten Gasschichten.

Dabei wird für jeden Zeitschritt die aktuelle Dosis ins Verhältnis zu der Dosis gesetzt, bei der in Laborversuchen der zu untersuchende Effekt (Rettungsunfähigkeit oder Tod) festgestellt wurde. Die effektive Teildosis (FED = Fractional Effective Dose) ist somit das Zeitintegral von aktuell vorhandenen Bedingungen zu Bedingungen, bei denen gerade der zu untersuchende Effekt auftritt. Wenn die Verhältniszahl FED den Wert 1 erreicht, kann daher davon ausgegangen werden, daß für den betroffenen Bewohner im aktuell zu untersuchenden Brandscenario auch der Fall von Rettungsunfähigkeit oder Tod eintritt.

Bei der Kombination von mehreren Gaskomponenten (n-Gasmodell) wird auch die Interaktion von z. B. Kohlenmonoxid und -dioxid berücksichtigt. Neben den erwähnten 4 Gaskomponenten wird zusätzlich vom Modell FAST die Konzentration der sonstigen toxischen Stoffe in jeder Gasschicht berechnet. Dabei muß das Verhältnis von am Brandherd entstehenden Stoffen zu aktuell umgesetztem Brandgut für jeden Zeitpunkt einer Änderung in der Geometrie oder dem Abbrandverhalten vom Anwender vorgegeben werden (vgl. Kap. 2.2.2 Abbrandvorgänge). Eine tödliche Dosis wird angenommen, wenn ein Wert von  $18000 \text{ g} \cdot \text{s}/\text{m}^3$  erreicht wird.

Im Bezug auf die Einwirkungen der heißen Gase werden zwei Effekte untersucht. Für die heißen Gase wird jeweils eine Maximaltemperatur verwendet. Bei  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  wird Rettungsunfähigkeit und bei  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  Tod angenommen. Zusätzlich werden die

Auswirkungen des konvektiven Wärmeübergangs untersucht, bei dem auch ein zeitlicher Einfluß in Form einer exponentiellen Funktion berücksichtigt wird.

Die Auswirkungen von Wärmestrahlung werden ebenfalls berücksichtigt. Dabei werden aus der Forschung bekannte Grenzwerte für die Empfindung von Schmerz sowie die Entzündung der Haut als Indikator für die Rettungsunfähigkeit oder den Tod verwendet. Entscheidend sind sowohl die Höhe als auch die Dauer der Wärmestrahlung auf die Personen.

### 3. VARIATIONEN DES "FIRE SCENARIO No. 3"

#### 3.1 Beschreibung des Beispiels

Als Ausgangspunkt für die ersten Parameter-Studien wurde das im Programmpaket enthaltene Beispiel No. 3 gewählt: Eingeschossiges Einfamilienhaus; Entstehungsbrand im Schlafzimmer; Brandherd: Matratze. Im Hinblick auf relevante Szenarien bei der vorgesehenen Anwendung für das BKH Haar, erschien dieses Beispiel am besten geeignet. Der Grundriß ist im Anlage 1.1.1 gezeigt.

Bauliche Parameter im Beispiel:

- Raumhöhe: 2.40
- Wände: Gipskarton
- Decke: Gipskarton
- Fußboden: Beton
- Öffnungen bei Brandbeginn: Türen 1/6, 2/6 und 3/6 geschlossen, Fenster im Raum 1 teilweise geöffnet, alle anderen geschlossen.

Brandentstehung im Raum 2.

In Anlage 1.1.2 ist der verwendete Datensatz für die Berechnungen mit FAST wiedergegeben. In den anschließenden Anlagen 1.1.3 ff sind folgende Ergebnisse (aus der Anwendungsbeschreibung) dargestellt, wobei die 4 Plots auf jeder Anlage sich auf die Räume 1-6 beziehen:

- 1.1.3 - Temperaturverlauf in der oberen Luftschicht
  - Temperaturverlauf in der unteren Luftschicht
  - Verlauf der (unteren) Schichtdicke
  - Druckverlauf (Pa)
- 1.1.4 - Abbrandgeschwindigkeit (kg/s)
  - Optische Rauchdichte obere Schicht (OD)
  - durch Verbrennung freigesetzte Energie (KW)
  - Optische Rauchdichte untere Schicht (OD)
- 1.1.5 - CO<sub>2</sub> Anteil in der oberen Schicht
  - CO Anteil in der oberen Schicht
  - O<sub>2</sub> Anteil in der oberen Schicht
  - Toxizitätsparameter für obere Schicht (CT)
- 1.1.6 - wie 1.1.5 für untere Schicht

Die Nummerierung der Plots wird bei den folgenden Varianten beibehalten.

Temperaturverlauf (Anlage 1.1.3): Augenfällig ist die Temperaturentwicklung in den Räumen 6 und 1, d. h. in den an den Entstehungsraum (2) angrenzenden Räumen, obwohl die Verbindungstüren jeweils geschlossen sind. Dabei ist zunächst anzumerken, daß im Beispiel "geschlossene Türen" mit einem Öffnungsspalt von 1 cm simuliert werden. Ferner bedingt das offene Fenster in Raum 1 offenbar einen nennenswerten Luftaustausch zwischen dem Brandraum und den Räumen 1 und 6.

Im Programmteil FAST werden - sobald nicht genügend Sauerstoff im Entstehungsraum zur Verfügung steht (vgl. Anlage 1.1.5 und 1.1.6) - Pyrolysegase auch außerhalb des Brandraums verbrannt, sofern die Möglichkeit besteht, daß die Gase in angrenzende Räume entweichen können (vgl. Anlage 1.1.4). Somit erfolgt der Abbrand unabhängig vom verfügbaren Sauerstoff im Entstehungsraum. Auf diese Modellierung wurde in Abschnitt 2.2 eingegangen. Aus Anlage 1.1.3 ist zu erkennen: Flashover tritt im Entstehungsraum nicht ein.

Die Schichtentwicklung, z.B. im angrenzenden Raum 6 (siehe Anlage 3.1.3) ist so stark, daß nach 2 Minuten nur mehr eine rauchfreie Schicht von 1 m zur Verfügung steht; in den anderen Räumen tritt diese Situation nach etwa 4 min. ein. Aufgrund des Luftaustausches zwischen den Räumen 2 und 1 liegt die optische Rauchdichte, sowie die CO- und CO<sub>2</sub>-Konzentration in Raum 1 nicht wesentlich unter jener im Entstehungsraum.

Für die Beziehung zwischen Schichtentwicklung und den Parametern CO-, CO<sub>2</sub>-Konzentration, optische Rauchdichte und Toxizitätsparameter, kann man feststellen, daß sie mit erheblicher Verzögerung gegenüber der Schichtentwicklung ansteigen. Daraus kann man zunächst feststellen, da hier die Schichtentwicklung als konservativer Maßstab zur Beurteilung einer Personengefährdung gelten kann.

Bemerkenswert ist der Druckverlauf im Brandraum: Bei geschlossener Tür wird kurzfristig ein Überdruck von mehr als 100 Pa erreicht, in weiteren Räumen immerhin auch noch 20 Pa (Anlage 1.1.3). Diese hohe Druckerhöhung im Brandraum könnte damit zusammenhängen, daß für die Zeit des hohen Druckanstieges die obere Schicht den Fußboden erreicht. Damit verschwindet physikalisch das Volumen der unteren Schicht, bzw. wird infinitesimal klein.

### **3.2 Variante mit Stahlbetonwänden.**

Gegenüber dem Beispiel 3.1 mit Gipskartonwänden und -decke werden Stahlbetonwände und -decke vorgesehen. Die Anlagen 1.2.1 ff. geben analog zum Beispiel 3.1 die wesentlichen Ergebnisse. Aus dem Vergleich der Bilder ist zu erkennen:

Die maximale Temperatur im Brandraum liegt um etwa 50 °C unter jener bei Ausführung mit Gipskarton (vgl. Anlagen 1.1.3 und 1.2.3), d. h., die Wärmespeicherfähigkeit der schweren Betonkonstruktion wirkt sich offenbar für den Brandraum günstig aus. Für die anderen Räume ist der Einfluß unerheblich. Erwartungsgemäß spielt die Wahl der Umschließungsbauteile nur für die Temperatur eine Rolle, die anderen Größen bleiben fast unverändert.

### **3.3 Variante mit Deckenhöhe 3.40 m.**

Im Vorgriff auf die Deckenhöhe im BKH Haar wurde die Deckenhöhe von 2.40 m im Ausgangsbeispiel auf 3.40 m erhöht, wobei Wände und Decken wieder aus Gipskarton bestehen (Anlagen 1.3.1 ff).

Die größere Raumhöhe reduziert die maximale Temperatur im Brandraum um etwa 30 °C; ebenso im anschließenden Raum 1 (vgl. Anlage 1.3.3). Dies gilt auch für die Temperaturen in der unteren Luftschicht.

Hinsichtlich der Schichtentwicklung kann man feststellen, daß die Zeitdauer bis die Höhe der rauchfreien Schicht unter 2 m absinkt um das 1.5- bis 2-fache zunimmt; betrachtet man eine Höhe der rauchfreien Schicht D von nur 1 m, so ist der Zeitgewinn nicht mehr relevant.

Der anfängliche Druckanstieg im Brandraum wird etwas verzögert, die Abbrandrate bleibt bestimmungsgemäß gleich. Die CO<sub>2</sub>- und CO-Konzentration wird nur im Brandraum verringert (vgl. Anlagen 1.1.5 und 1.3.5). Der Abfall der Sauerstoffkonzentration erfolgt langsamer, die Zunahme der optischen Rauchdichte ebenfalls, wobei geringere Höchstwerte erreicht werden. Auffallend ist der geringere Toxizitätsparameter in der oberen Schicht im Raum 1, der nunmehr aber in fast allen Räumen gleiche Werte erreicht (anderer Maßstab in Anlage 1.1.5 als 1.3.5).

### **3.4 Variante mit geöffneten Türen und Fenstern**

Wiederum wurde eine Raumhöhe von 3.40 m angenommen, wobei Wände und Decken aus Gipskarton bestehen. Gegenüber Variante 3.3 wurden alle Türen, d. h. auch die Brandraumtür, als geöffnet simuliert (vgl. Anlagen 1.4.1 ff).

Die äquivalente Abbrandgeschwindigkeit des Brandgutes wird - wegen der speziellen Modellierung in FAST - nicht von der verfügbaren Sauerstoffmenge beeinflusst.

Die offene Tür im Brandentstehungsraum bedingt, daß genügend Sauerstoff zur Verfügung steht und die Pyrolysegase vornehmlich im Brandraum verbrennen (vgl. Anlage 1.4.4); die Temperaturen in der oberen und unteren Luftschicht verdoppeln sich nahezu, wobei auch hier kein Flashover auftritt, aber alle Rauchgasschichten fast den Fußboden erreichen. In den angrenzenden Räumen werden folglich geringere Temperaturen erreicht (vgl. Anlage 1.3.3 und 1.4.3).

Die Schichtentwicklung im angrenzenden Flur (Raum 6) verläuft - zumindest während der ersten 4 Minuten - eher günstiger; nach 6 Minuten ist jedoch eine vollständige Verrauchung aller Räume eingetreten (vgl. Anlage 1.3.3 und 1.3.4).

Die geöffneten Türen führen zu einem fast gleichmäßigen Druckanstieg in allen Räumen, mit erwartungsgemäß geringen Maximalwerten. Nach etwa 7 Minuten sinkt der Luftdruck soweit ab, daß Unterdruck herrscht. Es fällt wiederum auf, daß die größten Druckänderungen wieder dann eintreten, wenn die untere Schicht ein sehr geringes Volumen besitzt.

Der CO<sub>2</sub>-Anteil der Rauchgasschicht im Brandraum und allen weiteren Räumen sowie alle weiteren Gefährdungsparameter werden durch die geöffnete Tür erhöht. Damit werden die Rauchgasprodukte vergleichsweise gleichmäßig innerhalb des Gebäudes verteilt.

### **3.5 Deckenhöhe 3.40 m und Stahlbetonwände.**

Für eine wiederum geschlossene Brandraumtür wurden für eine Deckenhöhe von 3.40 m auch Stahlbetonwände und -decken vorgesehen (vgl. Anlagen 1.5.1 ff).

Hinsichtlich des Temperaturverlaufs überlagern sich die günstigen Einflüsse der Stahlbeton-Umschließung und der Deckenhöhe: Die maximalen Temperaturen im Brandraum bleiben um ca. 80 °C unter jenen des Ausgangsbeispiels (vgl. Anlagen 1.1.3 und 1.5.3).

#### 4. BRANDSIMULATIONEN FÜR DAS BEZIRKSKRANKENHAUS HAAR

Der simulierte Gebäudeabschnitt, der Grundriß von Ebene 1 und die für die Simulation vorgenommene Vereinfachung kann den Bildern 4.1 bis 4.3 entnommen werden. Dabei wird zunächst nur ein 1-geschossiger Abschnitt und dieser vom übrigen Gebäude getrennt betrachtet, d.h. dicht geschlossene T 90 Tür bzw. durchgehende Brandwand. In weiteren Variationen wird dann eine Erweiterung auf zwei Geschosse vorgenommen. Für mehr als zwei Geschosse erscheint eine Anwendung von FAST nicht geeignet, da die Ventilationsbedingungen in einem hohem Treppenhaus nicht zuverlässig simuliert werden können (siehe Abschnitt 2.2).

Die Vereinfachung der Geometrie ist vor allem notwendig um die Anzahl der Räume kleiner/gleich sechs zu halten. Sie hat auf die Ergebnisse keinen Einfluß, sofern die einem Knotenpunkt zugeordnete Grundrißfläche etwa gleich bleibt.

Die Ausstattung des Brandraumes (hier wieder Raum 2) wurde vom Anwendungsbeispiel übernommen, ebenso das Szenario. Die Begründung dafür ist, daß die Datensätze der Anwendungsbeispiele sicherlich am besten abgesichert und für diese Anwendung durchaus relevant sind. Auf mögliche thermische Unterschiede zwischen amerikanischen und deutschen Einrichtungstoffen wird nicht eingegangen, weil sie als klein angesehen werden.

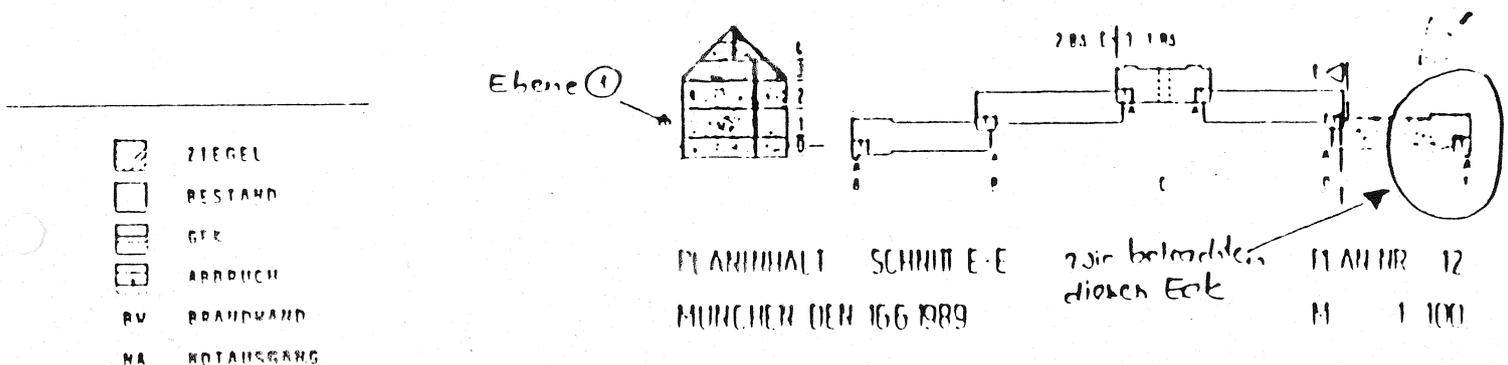


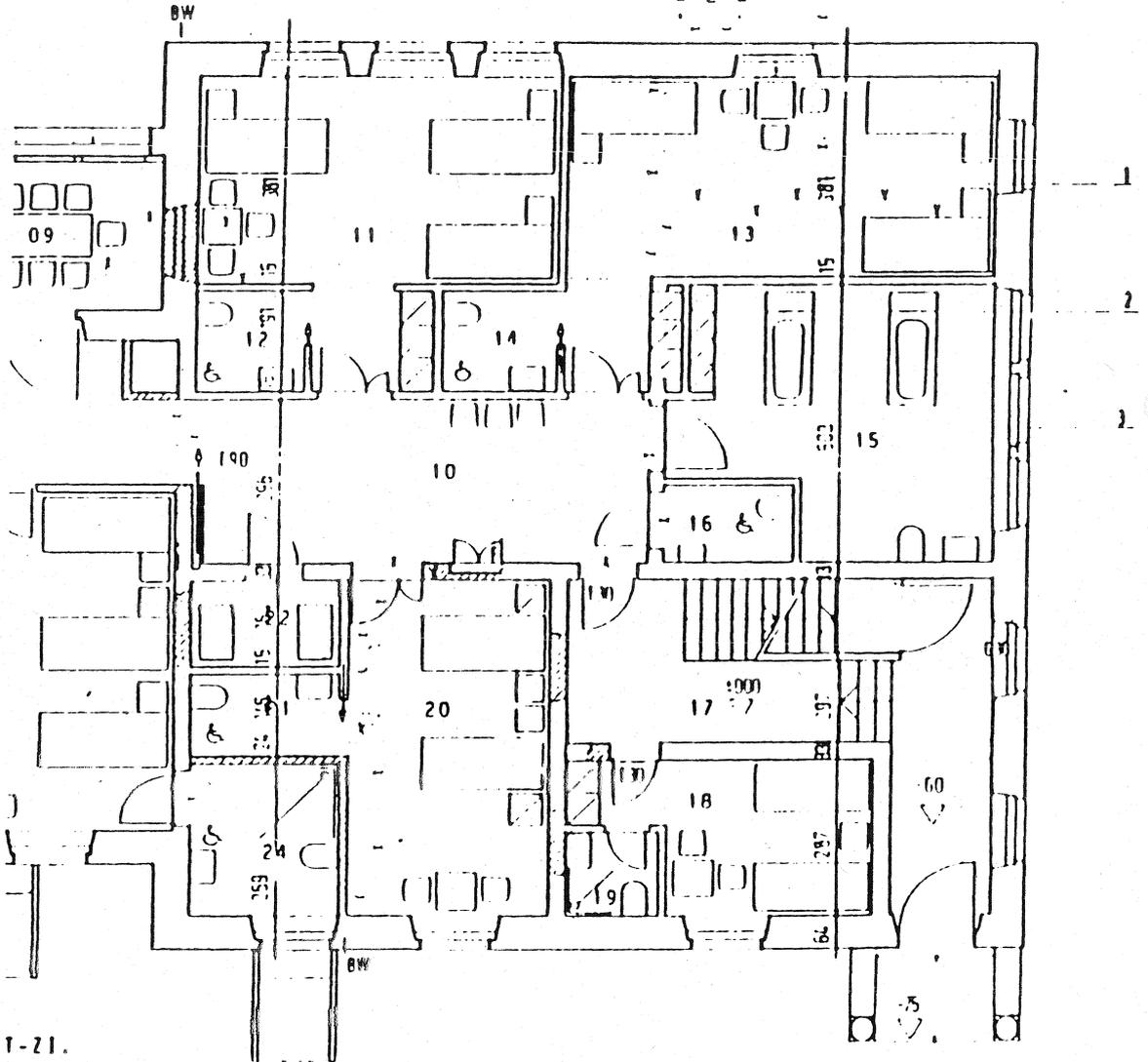
Bild 4.1: Übersichtsskizze für das Bezirkskrankenhaus Haar

Ebene ①  
original

3.7

3.7  
10 FLUR  
23.6

15 STATIONSBAD  
24.2  
16 BES. WC  
3.1



22 REINWASCHE 4.4  
21 SAN. EIMM. 4.1  
24 SAN. EIMM. 7.0  
20 2-BETT-ZI. 21.0

17 TREPPENHAUS 16 19.3  
18 JOURZIMMER 12.4  
19 SAN. EIMM. 2.4  
▲ EINGANG HAUS E

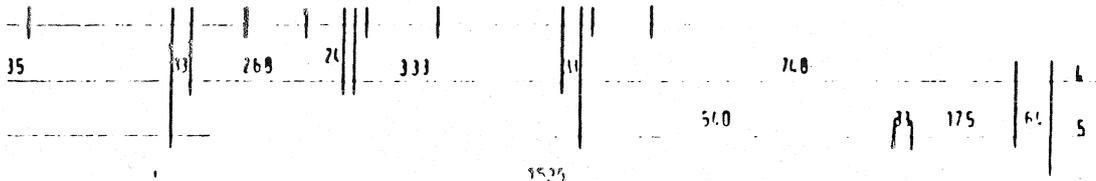


Bild 4.2: Grundriß der Ebene 1 des untersuchten Gebäudeendes

# Grundriß 1

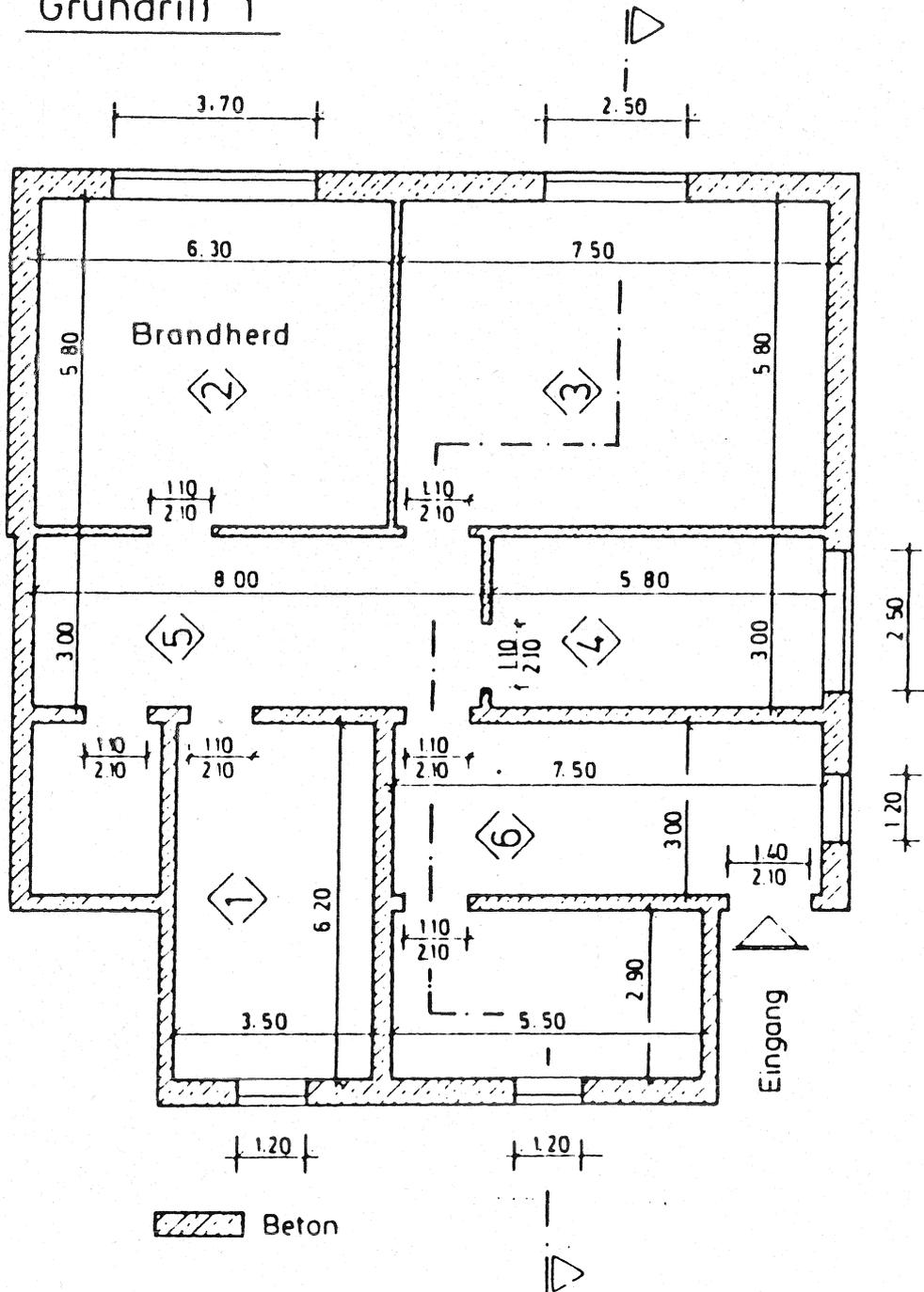
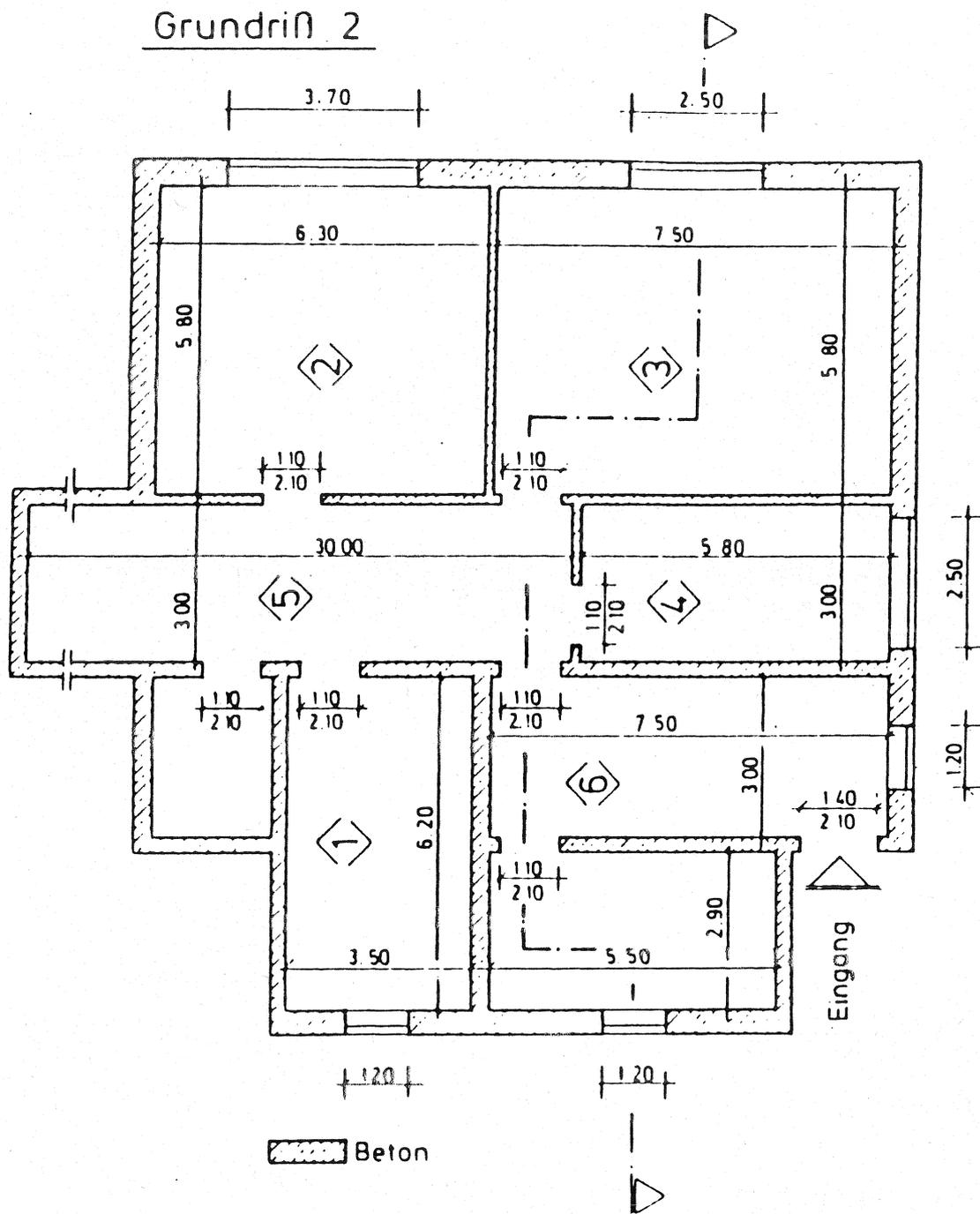


Bild 4.3: Grundriß der Ebene 1 des untersuchten Gebäudeendes für Rechenmodell



#### 4.1 Grundversion

In der Grundversion (vgl. Anlagen 2.1.1 ff) sind die Türen aller Krankenzimmer, einschließlich des Brand(entstehungs)raumes geöffnet (Türen 1/5, 2/5, 3/5); die übrigen Türen und Fenster sind geschlossen, d. h. es wird ein Luftspalt von 1 cm Breite angesetzt. Angenommen ist ein Matratzenbrand im Raum 2, entsprechend dem vorherigen Szenario Beispiel 3. Die Ergebnisse zeigen:

Flashover tritt nicht ein; im Vergleich zur Variante 3.4 spielt sich hier die Verbrennung fast ausschließlich im Entstehungsraum ab (vgl. Temperaturverläufe Anlage 2.1.3 sowie freigesetzte Energie in 2.1.4). Die maximalen Temperaturen im Flur liegen bei 200 °C.

Die Abbrandgeschwindigkeit im Brandraum ist bestimmungsgemäß wieder identisch mit jener des Beispiels 3 mit einem Höchstwert von 23 kg/min (Anlage 2.1.4), dieses entspricht einer Brandleistung von 3500 kW, wobei etwa die Hälfte der theoretisch freisetzbaren Energie von ca. 7000 kW eingesetzt wird.

Die Höhe der rauchfreien Schicht im angrenzenden Flur (Raum 5) beträgt nach 2,7 Minuten weniger als 2 m, in den weiteren Räumen nach 6 Minuten. Wie bei den vorigen Varianten erfolgt jedoch ein signifikanter Anstieg der CO-, und CO<sub>2</sub>-Konzentration, der optischen Rauchdichte und des Toxizitätsparameters gegenüber der Schichtentwicklung mit einer zeitlichen Verzögerung von rund 1 Minute.

Der Druckverlauf in den vier in offener Verbindung stehenden Räumen (1, 2, 3, 5) ist etwa gleich, wobei in den Räumen 1, 3 und 5 der Überdruck kurzfristig knapp 30 Pa erreicht und etwas höher ist als im Brandraum.

#### 4.2 30 m Flurlänge

Gegenüber der Grundversion (4.1) wurde der Flur - ungeachtet der im Plan vorhandenen Brandwand - auf 30 m verlängert (Anlage 2.2.1) zur Simulation der bauaufsichtlich zulässigen Rauchabschnitte. Die Türen 1/5, 2/5, 3/5 (also auch die Brandraumtür) sind geöffnet.

Durch die Flurverlängerung wird das Volumen des Raumes Nr. 5 auf das 3.75-fache erhöht.

Die Maximal-Temperatur im Brandraum erhöht sich gegenüber (4.1) wegen geringfügiger Erhöhung der freigesetzten Energie. Dafür bleibt die Temperatur in der oberen Luftschicht des Flures deutlich unter 200 °C (vgl. Anlage 2.1.3 und 2.2.3). Die Zeitdauer bis im Flur eine rauchfreie Schicht von 2 m unterschritten wird, verlängert sich um das 1.3-fache und für die anderen Räume um das 1.2-fache. Der maximale Druck im Brandraum verringert sich weiter gegenüber den anderen Räumen (vgl. Anlagen 2.1.3 und 2.2.3).

### 4.3 Brandraumtür geschlossen.

Es sind nunmehr die Türen 1/5, 5/6 und 6/7 (Ausgang) offen, d.h. die Brandraumtür und alle übrigen Öffnungen sind geschlossen (1 cm Spalt) - vgl. Anlage 2.3.1.

Es kommt nur zu einem sehr kurzzeitigem nennenswerten Temperaturanstieg im Brandraum; nach 5 Minuten fällt die durch Verbrennung freigesetzte Wärmemenge auf 0 ab (Anlage 2.3.4). Im angrenzenden Flur bleiben die Temperaturen der oberen Schicht unter 150 °C. Beim Beispiel (3.1) war das Fenster im Raum 1 geöffnet; dort erfolgte offensichtlich ein erheblicher Luftaustausch zwischen Brandraum, Raum 1 und Raum 6. Bei dieser Variante findet nur ein sehr geringfügiger Luftaustausch statt und kann wie folgt erklärt werden:

- größeres Volumen des Brandraumes,
- insbesondere aber, Fenster im Brandraum mit Luftspalt simuliert.

Daß die Temperaturen im Außenflur (Raum 6) gegenüber der Ausgangstemperatur absinken, kann nur durch eine physikalische Ungenauigkeit im Rechenmodell FAST erklärt werden.

Wie zu erwarten, verläuft die Schichtentwicklung außerhalb des Brandraumes (bei geschlossener Brandraumtür) günstiger als in der Grundversion, mit ebenfalls entsprechend zeitlich verzögertem Anstieg der CO/CO<sub>2</sub>-Konzentration und der anderen Gefährdungsparameter.

### 4.4 Simulation "Türöffnen"

In Ergänzung zur Variante 4.1 und 4.3 sind hier bei Brandbeginn alle Türen geschlossen (ohne Luftspalt). Nach etwa 1.5 Minuten wird die Brandraumtür geöffnet, nach 2.5 Minuten die Türen 1/5, 3/5 und 5/6 (vgl. Anlage 2.4.1).

Der Verlauf der Brandleistung Q im Brandraum ist sehr ähnlich dem Verlauf in der Grundversion (vgl. Anlagen 2.1.4 und 2.4.4), dementsprechend ist der Temperaturverlauf im Brandraum wie auch im Flur fast identisch mit der Grundversion (Anlagen 2.1.3 und 2.3.3), d. h. die Brandraumtür wurde "zu früh" geöffnet, um einen Einfluß auf das Brandgeschehen im Entstehungsraum zu haben. Nur die Temperaturen in den weiteren Räumen werden etwas reduziert.

Wegen der frühen Öffnung der Brandraumtür nach ca. 1,5 Minuten werden auch die weiteren Parameter nicht nennenswert gegenüber der Grundversion verändert.

Das bedeutet, daß gegenüber dem Fall einer apriori offenen Brandraumtür ein Öffnen der anfänglich geschlossenen Tür keine größere Gefährdung darstellt.

#### **4.5 Simulation "Türöffnen" bei 30 m Flur**

Bei sonst gleichen Gegebenheiten wie bei Variante 4.4 wurde analog zu 4.2 ein 30 m langer Flur vorgesehen.

Es wird etwa die gleiche Maximal-Temperatur im Brandraum erreicht wie beim kurzen Flur, die Temperaturen in der oberen Schicht der anderen Räume, einschließlich Flur sind etwas niedriger. Gleiches gilt für die Temperaturen in der unteren Luftschicht (vgl. Anlage 2.4.3 und 2.5.3).

Die Schichtentwicklung im Flur und in den anderen Räumen wird ca. 30 Sekunden verzögert. Der  $\text{CO}_2$  - und CO- Anteil im Flur und den anderen Räumen, sowie die optische Rauchdichte und der Toxizitätsparameter bleiben unter den Werten der Variante 4.4 ( 8 m Flur).

#### **4.6 Raum Nr. 4 abgetrennt**

Zu Kontrollzwecken und als Bezugsvariante für die zweigeschossigen Variationen wurde die Tür 4/5 (und die Ausgangstür) als vollständig geschlossen (ohne Luftspalt) simuliert, bei sonst gleichen Gegebenheiten wie bei der Variante 4.4.

Es kommt gegenüber der Variante 4.4 zu einer geringfügigen Druckerhöhung in allen anderen Räumen wegen der Verringerung des verfügbaren Volumens. In Raum Nr. 4 bleiben alle Ausgangswerte näherungsweise erhalten - d.h. der Raumabschluß wird zutreffend simuliert.

#### **4.7 Raum Nr. 4 abgetrennt mit 30 m Flur**

Zum Vergleich mit Variante 4.5 wurde die Tür 4/5 sowie die Ausgangstür als vollständig geschlossen (ohne Luftspalt) simuliert, bei sonst gleichen Gegebenheiten wie bei der Variante 4.5 (30 m langer Flur). Es gelten die gleichen Folgerungen wie bei Variante 4.6.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen der Variante 4.6 bestätigt sich der in 4.2 und 4.5 schon genannte günstige Einfluß der Verlängerung des Flures von 8 m auf 30 m.

#### **4.8 Simulation "Treppenraum"**

Als Übergang zu der zweigeschossigen Betrachtung wurde bei sonst gleichen Gegebenheiten wie bei Variante 4.6 die Raumhöhe in Raum Nr. 6 von 3.4 m auf 7.0 m vergrößert (vgl. Anlage 2.8.1). Somit wird ein Treppenraum mit dichtgeschlossenen Türen im OG simuliert, allerdings bei Annahme einer ungestörten Schichtentwicklung im Treppenraum. Dabei ist anzumerken, daß die Treppenraumbür 5/6 bei Brandbeginn geschlossen und nach 260 s (im Zuge der Flucht) geöffnet wird.

Hinsichtlich der Temperaturentwicklung gilt etwa die gleiche Tendenz wie bei der Flurverlängerung: Die Temperaturen im Brandraum bleiben nahezu unverändert, die Temperaturerhöhung in den angrenzenden Räumen ist etwas geringer (vgl. Anlage 2.6.3 mit 2.8.3).

Ebenso ergibt sich für die übrigen Gefährdungsparameter eine geringfügige Verzögerung gegenüber der Variante mit niedrigem Raum Nr. 6, wenngleich der Einfluß auf die Schichthöhe außerhalb Raum Nr. 6 vernachlässigbar ist. Bezüglich Raum Nr. 6 stellt sich das auch schon in /21/ beobachtete Verhalten von Rauchschichten mit zunehmender Raumhöhe ein: Mit zunehmender Raumhöhe ergibt sich für die Anfangsphase ein zunehmender "Sicherheitsabstand"; die Zeit bis zum Erreichen einer rauchfreien Schicht von etwa 1...2 m wird hingegen nur unwesentlich um 30 Sekunden verzögert - allerdings bei entsprechender "Verdünnung" der Rauchschicht (vgl. z.B. die optische Rauchdichte OD in Anlage 2.6.4 und 2.8.4).

#### **4.9 Treppenraum und 30 m Flur**

Unter sonst gleichen Gegebenheiten wie bei Variante 4.8 wird nunmehr der Flur (im EG) wieder auf 30 m verlängert (siehe Anlage 2.9.1).

Wie zu erwarten, überlagern sich die günstigen Effekte des hohen - im Zuge der Flucht aus dem EG als "Rauchvolumen" dienenden - Treppenraumes und des langen Flures:

- die Temperaturen außerhalb des Brandraumes bleiben deutlich unter 100 °C (Anlagen 2.8.3 und 2.9.3),
- die Schichtentwicklung im Flur wird deutlich (ca. 3 Minuten), im Treppenraum und in den anderen Räumen geringfügig verzögert (Anlagen 2.8.3 und 2.9.3),
- ebenso nehmen die weiteren Gefährdungsparameter langsamer zu (z.B. die optische Dichte Anlagen 2.8.4 und 2.9.4).

#### **4.10 Treppenraum und Flure im EG und OG**

Unter sonst gleichen Gegebenheiten wie bei Variante 4.8 wird zusätzlich zum Flur im EG ein Flur (beide 8 m lang) im OG (neuer Raum Nr. 4) berücksichtigt. Eine Interaktion zwischen den weiteren Räumen im OG und dem Flur im OG wird nicht berücksichtigt, d.h. die Gefährdungsparameter für den neuen Raum Nr. 4 repräsentieren den ungünstigsten Fall für das OG. Die Türen zum Treppenraum 5/6 und 4/6 öffnen sich wieder nach 260 s um den Fluchtvorgang aus EG und OG zu simulieren.

Gegenüber Variante 4.8 nehmen die Temperaturen im Brandraum schneller ab, bei merklicher Temperaturerhöhung im EG Flur (Raum Nr. 5) und Treppenraum (Nr. 6). Die Temperaturen im OG Flur erreichen fast die Werte der anderen EG Räume von ca. 100 °C (Anlage 2.10.3).

Im EG Flur und im Treppenraum werden nach 5 Minuten Branddauer deutliche Wärmemengen rechnerisch freigesetzt (Anlage 2.10.4). Die Schichtentwicklung im Treppenraum verläuft hier nach ca. 3 Min. Branddauer etwas günstiger als ohne Einbeziehung des OG Flures. Die optische Rauchdichte OD ist nach 10 Minuten Branddauer im OG größer als im EG.

Die Einbeziehung des OG Flures führt somit nicht zu einer Entlastung des EG.

#### **4.11 Treppenraum und 30 m Flure im EG und OG**

Wie bei der vorigen Variante 4.10 werden nach 5 Minuten Branddauer durch die spezielle HARARD-Simulation deutliche Wärmemengen von unverbrauchten Gasen rechnerisch im EG Flur und im Treppenraum freigesetzt (Anlage 2.11.4). Die Flurlängen bewirken wiederum etwas geringere Temperaturen außerhalb des Brandraumes, eine günstigere Schichtentwicklung und etwas günstigere Werte für die weiteren Gefährdungsparameter.

#### **4.12 Simulation "Fensteröffnen"**

Hier wurden alle Innentüren (1/5, 2/5, 3/5, 5/6) als geschlossen simuliert, ohne Luftspalt, vgl. Anlage 2.12.1. Bestimmungsgemäß darf keine Interaktion zwischen dem Brandraum und den umliegenden Räumen eintreten. Das anfänglich geschlossene Fenster im Brandraum wird nach ca. 2.5 Minuten geöffnet. Gegenüber der Variante 4.3 verdoppelt sich die maximal freigesetzte Wärmemenge im Brandraum, bei erheblich längerer Dauer der Energiefreisetzung (vgl. Anlage 2.3.4). Die Maximal-Temperatur wird nur geringfügig erhöht, bei langsamerer Temperaturabnahme (Anlage 2.12.4); die Temperatur in der unteren Schicht steigt allerdings bis auf 300 °C an (Anlage 2.12.3).

Günstig wirkt sich das Fensteröffnen auf die Rauchschichtentwicklung aus. Bemerkenswert ist der Druckverlauf im Brandraum: anstelle eines Überdrucks von 80 Pa erhält man einen Unterdruck von fast 15 Pa, der auf den günstigen Abtransport der Heißgase hinweist. Als grobe Folgerung kann man sagen, daß die erhöhte Energiefreisetzung bei ausreichender Sauerstoffzufuhr, in diesem Fall durch den Wärmeabzug über das Fenster hinsichtlich der Maximal-Temperaturen fast kompensiert wird.

#### **4.13 Variierter Öffnungszeitpunkt für Raum 1**

Im Vergleich zur Variante 4.10 wurde hier die Tür zwischen Raum 1 und Flur nicht erst nach 260 s sondern gleichzeitig mit der Tür zum Brandraum nach 100 s geöffnet.

Dies führt zu einer deutlichen Erhöhung der Maximal-Temperaturen im Flur um etwa 250 °C und in Raum 1 um etwa 300 °C (vgl. Anlagen 2.10.3 und 2.13.3), bedingt durch eine deutliche Freisetzung von Wärmemengen im EG Flur, Raum 1 und Treppen-

raum. Günstiger wird die Schichthöhenentwicklung, wobei z. T. rauchfreie Schichten von etwa 2 m auftreten. Die Rauchsichtdicke im Flur im EG ist günstiger als bei der späteren Öffnung der Türen, weil die Umwälzung der Rauchgase um etwa 2,5 min früher erfolgt.

Die freigesetzte Energie in den Folgeräumen, vornehmlich im EG-Flur erreicht Spitzenwerte von etwa 3000 kW, was der sonst üblichen Freisetzung im Brandraum von etwa 3500 kW fast entspricht (vgl. Anlage 2.10.4 und 2.13.4). Durch die geänderten Verbrennungsmechanismen wird auch die Gaskonzentration für CO<sub>2</sub> und CO vor allem im Flur im EG deutlich höher. Physikalisch fragwürdig ist allerdings eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von zeitweise 30 % im Verbrennungsraum (vgl. Anlage 2.13.5 und 2.10.5).

#### **4.14 Variierter Öffnungszeitpunkt für Raum 1 und 30 m langer Flur**

Im Vergleich zu Variante 13 wurde wieder ein langer Flur simuliert. Die Tendenz entspricht den bisher gemachten Erfahrungen. Die Temperaturentwicklung ist günstiger. Durch das vergrößerte Volumen tritt eine um etwa 1 Minute verzögerte Verrauchung des Treppenraumes ein. Der Flur im EG wirkt nicht mehr als Wärme- stauraum wie bei Variante 13 und die Verbrennung findet im wesentlichen wieder im Brandraum und deutlich weniger in den angrenzenden Räumen statt (vgl. Anlagen 2.13.3 und 2.13.4 mit 2.14.3 und 2.14.4).

#### **4.15 Türen bei Brandbeginn offen**

Zum Vergleich mit den Varianten 4.10, 4.12 (und 4.3) wurden in dieser Variante alle Türen ab Brandbeginn als geöffnet unterstellt (also auch vorschriftswidrig die Treppenraum- Türen).

Ergebnisse: Je früher der Öffnungsbeginn bei den Türen, desto

- größer die rechnerische Wärmefreisetzung außerhalb des Brandraums,
- höher die Temperaturen in den Räumen außerhalb des Brandraums,
- geringer der Druckanstieg in den einzelnen Räumen,
- gleichmäßiger die Verrauchung aller Räume.

Da relativ frühe Öffnungszeitpunkte betrachtet wurden, sind die hier festgestellten Unterschiede jedoch nicht sehr signifikant. Allein der Fall einer während des gesamten Brandverlaufs - wenngleich nicht rauchdicht - geschlossenen Brandraumtür (Variante 4.3) ergibt wirklich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Gefährdung angrenzender Räume.

#### **4.16 Alle Türen bei Brandbeginn offen, 30 m Flure**

Zum Vergleich mit 4.11 und 4.14 wurden wie in Variante 4.15 alle Türen bei Brandbeginn als offen unterstellt. Es gelten die gleichen Folgerungen wie vor.

## 5. VEGLECHSRECHNUNGEN MIT DEM RECHENPROGRAMM M R F C

### 5.1 Modellannahmen im Vergleich zu HAZARD I

Zur Simulation von natürlichen Bränden wurde an der Universität Kassel ein Mehrraum-Mehrzonenmodell entwickelt, mit dem die das Brandgeschehen wesentlich bestimmenden Größen berechnet werden können. Dieses Programm wird im folgenden dazu benutzt, um an 4 ausgewählten Beispielen zu zeigen, inwieweit die Brandmodellierungen durch HAZARD und MRFC zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Die physikalischen Grundlagen des Modells MRFC sind im Anhang zu diesem Bericht beschrieben. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens kann /11/ entnommen werden. Im folgenden wird kurz auf die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Programmen hingewiesen.

Im Hinblick auf die grundlegenden thermodynamischen Modellannahmen bestehen Unterschiede zwischen MRFC und FAST dadurch, daß für jeden Raum je nach Brandverlauf unterschiedliche Annahmen für die Zonenaufteilung sowie die Anzahl der berücksichtigten Zonen gemacht werden. Es werden dabei 6 verschiedene Fälle behandelt, wobei vor allem die Berücksichtigung der Ausbreitung der Heißgasschicht an der Decke zu nennen ist. Diese Tatsache gewinnt vor allem bei der Berechnung von sehr großen Räumen an Bedeutung. Auch die Tatsache, daß u.U. bei sehr großen Ventilationen in der Decke die Heißgasschicht verschwindet und nur noch der Bereich über dem Brandherd erwärmt wird, ist unterschiedlich modelliert. Auch der explizite Übergang zu einem vollständig verrauchten Raum oder die Berücksichtigung nur einer kalten Schicht zu Brandbeginn sind zu erwähnen. Nachteilig ist z.Z., daß aus Gründen der Vereinfachung bei MRFC nicht vorgesehen ist, daß in einem bereits vollständig verqualmten Raum im Verlauf des Brandes die Schichtgrenze wieder nach oben wandert.

Beim Modell FAST dagegen wurde bei der Durchführung der Berechnungen teilweise beobachtet, daß sich in einigen Räumen die Schichtgrenze wieder vom Boden weg bewegt. Allerdings kann in diesen Fällen auch festgestellt werden, daß für die Zeitspanne, in der der Raum vollständig verqualmt ist, eine sehr starke Zunahme des Druckes am Fußboden festzustellen ist, die u.U. damit erklärt werden kann, daß das Volumen der unteren Schicht für diesen Fall verschwindet und somit physikalisch undefiniert ist.

Unterschiedlich ist auch die Anzahl der möglichen Arten von Massenströmen zwischen den einzelnen Räumen. Bei FAST ist nur die Berücksichtigung von vertikalen Öffnungen möglich, deren Breite im Verlauf des Brandes linear mit einem vorgegebenen Verlauf verändert werden kann ( vgl. 2.2.2 ). Das Modell MRFC bietet darüber hinaus noch die Möglichkeit, sowohl horizontale Öffnungen als auch Schächte entweder mit natürlicher Ventilation oder auch mit Zwangsluft zu behandeln. Alle diese Ventilationen können im Verlauf des Brandes sowohl durch einen vorgegebenen Verlauf, als auch entweder durch variable Beziehungen in Abhängigkeit von der Deckentemperatur, der Heißgastemperatur oder der anstehenden Druckdifferenz verändert werden.

Die Abhängigkeit der Größe der Massenströme zwischen der Umgebung und dem Gebäude von einer evtl. vorhandenen Windbelastung kann über die Änderung der Druckverhältnisse für die Umgebung indirekt behandelt werden. Beim Modell FAST dagegen wird eine Windbelastung angegeben, die zudem in einer vorgegebenen Form von der Gebäudehöhe abhängt.

Die Einmischung an den Überströmöffnungen zwischen den einzelnen Räumen wird von beiden Programmen in einer ähnlichen Weise modelliert. Es treten allerdings geringfügige Unterschiede bei der Bestimmung der Schicht auf, in der der Massenstrom endet. Diese Tatsache kann u.U. bei komplizierten Verhältnissen Bedeutung gewinnen. Bei relativ klaren Temperatur- und Strömungsverhältnissen spielt dieser Unterschied eine untergeordnete Rolle.

Bei der Behandlung von Abbrandmodellen bietet das Modell MRFC wieder eine Vielzahl von teilweise stoffspezifischen Abbrandmodellen, bei denen eine Rückkopplung mit dem aktuellen Brandgeschehen besteht. Für die Bestimmung der Abbrandrate stehen im Programm umfangreiche Modelle zur Verfügung. Sie sind:

- Vorgabe einer Abbrandfunktion über drei Bereiche mit jeweils vier Stützstellen ( günstig zur Vorgabe von Trapezfunktionen )
- Vorgabe über bis zu 100 Stützstellen, zwischen denen linear oder durch Spline-Funktionen interpoliert wird
- Abbrandmodell für Holzkrippen
- temperatur- und ventilationsabhängiges Ölbrandmodell
- temperatur- und ventilationsabhängiges Kabelbrandmodell
- geometrisches Ausbreitungsmodell für Hallen

Bei der Behandlung der Energieströme und der Energiebilanzen bestehen geringere Unterschiede, die vor allem darin bestehen, daß z.T. andere Parameter für die einzelnen Phänomene Strahlung und Konvektion verwendet werden. Bei der Strahlung unterscheiden sich beide Modelle zudem auch vom Ansatz her. Dieser Einfluß wird allerdings erst bei höheren Temperaturen deutlich sichtbar. Näheres kann dem Anhang zu diesem Bericht oder / 11 , 24 / entnommen werden.

Deutliche Unterschiede bestehen bei der Modellierung der Verbrennungsvorgänge. Das Modell FAST läßt zu, daß wesentliche Teile des verdampften Brandgutes in entfernteren Räumen erst umgesetzt wird. Dabei kann es dazu kommen, daß im Brandraum im Extremfall gar keine Energie mehr freigesetzt wird. Das Modell MRFC läßt dies nicht zu. Falls unverbrannte Reste übrig bleiben, verbleiben diese in Form von Gasen im Rauch oder in Form von Kohlenstoff am Brandherd zurück. Auch die Bestimmung der entstehenden Verbrennungsprodukte ist verschieden. Im Modell MRFC wird eine in Abhängigkeit von den vorliegenden Gaszusammensetzungen fest vorgegebene idealisierte Verbrennung durchgeführt, die vom Benutzer nur gering zu beeinflussen ist. Für das Modell FAST müssen dagegen vom Nutzer zu jedem Zeitpunkt vorgegebene Verhältnisse eingegeben werden.

## 5.2 Ergebnisse der Brandsimulation

Für 4 Beispiele aus der Serie der Berechnungen für das Bezirkskrankenhaus Haar wurden vergleichende Berechnungen mit dem im Anhang auszugsweise beschriebenen Rechenprogramm MRFC durchgeführt. Die Berechnungen mit den zweigeschossigen Konfigurationen erschienen die interessantesten Varianten zu sein. Dabei kann u.a. auch das Verrauchungsverhalten des Treppenraumes und des Flures im Obergeschoß verglichen werden, welches physikalisch schwierig zu beschreiben bzw. zu simulieren ist.

Im folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen für die in Abschnitt 4.13 bis 4.16 erläuterten Fälle vorgestellt, die in Anlage 3 enthalten sind. Die entsprechenden Berechnungen mit FAST befinden sich in den Anlagen 2.13.1 bis 2.16.6.

Die grafische Darstellung der Rechenergebnisse von MRFC ist z.Z. nur für einige wesentliche Größen möglich. Dazu wurde ein einfaches Plottprogramm auf einem Atarisystem entwickelt. Für den Brandraum werden die Brandflächen mit der Abbrandrate sowie der stöchiometrische Verbrennungsgrad zusammen mit den aktuellen Luftwechselzahlen und dem Verhältnis von horizontalen zu vertikalen Öffnungen dargestellt. ( In den Anlagen 3.x.2 sind diese jeweils auf den oberen Bildern wiedergegeben. ) Außerdem werden für jeden Raum die Temperaturen der heißen sowie der kalten Schicht und die Dicke der Rauchgasschicht angegeben.

Die Flächen 1 und 2, die im ersten Bild zusammen mit der Abbrandrate dargestellt sind, ergeben sich aus dem hier nicht verwendeten geometrischen Abbrandmodell. Die Brandfläche wurde bei allen Berechnungen durchgehend zu einem  $m^2$  angenommen.

Auf dem zweiten Bild ist der zeitliche Verlauf des Luftwechsels auf der linken Achse abzulesen. Dabei wird die gesamte Zuluftmenge einschließlich eventuell vorhandener Zwangsluft, bezogen auf das gesamte Brandraumvolumen und die Dichte der Umgebungsluft berücksichtigt. Auf der rechten Achse sind die Verhältnisse von vorhandener Luft zur erforderlichen Luft für die vollständige Verbrennung ( $\varphi$  - Wert aus Gl. 5.3.7) sowie das augenblickliche Verhältnis von Dachöffnungen zu vertikalen Öffnungen dargestellt. Mit dem  $\varphi$  - Wert kann beurteilt werden, in welchem Maß die theoretisch zur Verfügung stehende Brandlast durch Verbrennung verzehrt wird, wodurch Wärme entsteht, die Einbauten und Bauteile belastet. Am Verhältnis von horizontalen zu vertikalen Öffnungen kann der zeitliche Verlauf der Öffnung der möglicherweise im Brandraum angeordneten Lichtkuppeln bzw. RWA's abgelesen betrachteteten Zeitpunkt geöffnet sind ( Dies war bei den vorliegenden Berechnungen immer der Fall ).

Die weiteren Plotts enthalten für alle Berechnungen den Verlauf der Temperaturentwicklung für den heißen und den kalten Gaskörper. Die beiden Kurven sind jeweils mit Symbolen für "oben" und "unten" versehen. Beim Brand auf der gesamten Brandraumfläche, wenn die Schichthöhe die gesamte Brandraumhöhe erreicht hat und bei Brandende, vereinigen sich die beiden Kurven. Eine plötzliche Zunahme der Schichtdicke kann auch festgestellt werden, wenn bei der Iteration zu einem bestimmten

Zeitpunkt nach einer vorgegebenen Anzahl von Iterationsschritten kein Gleichgewicht erreicht werden kann. In diesem Fall geht das Rechenprogramm in das Vollberandmodell ( Fall 4 in Bild 1.1 im Anhang ) über. Die Berechnungen werden dabei in der Regel wieder beschleunigt aufgenommen.

Für die Schichthöhe gilt die linke Achse, während für die Temperaturen die rechte Achse maßgebend ist. In der Mitte über den Bildern ist jeweils die Bezeichnung des zugehörigen Laufes angegeben. Links davon stehen immer die zum Symbol "Diamant" gehörigen Größen, für die jeweils die linke Achse gilt. Rechts davon stehen die entsprechenden Größen mit den Symbolen "Stern" und "Rechteck" für die dann die rechte Achse zu verwenden ist.

Beim Rechenmodell MRFC muß aus technischen Gründen der Brand immer in Raum 1 stattfinden. Daher mußte eine von den Berechnungen mit FAST abweichende Nummerierung der Räume vorgenommen werden. Auf den Anlagen 3.x.1 ist daher immer die entsprechende Systemskizze angegeben, bei der die Raumnummern für MRFC mit einem Kasten umrahmt sind. Die entsprechenden Raumnummern für FAST sind in spitzen Klammern angegeben.

### **5.2.1 Zweigeschossige Konfiguration mit Öffnungssequenz an Verbindungstüren**

Der Vergleich der Ergebnisse für die Temperaturen und Schichthöhen zwischen den Berechnungen mit FAST ( Anlage 2.13.3 ) und MRFC ( Anlage 3.1.2 ) zeigt, daß die Unterschiede bei den Heißgastemperaturen nur für eine relativ geringe Zeit zwischen etwa 5 bis 8 Minuten bei FAST für den Brandraum deutlich über den mit MRFC berechneten Werten liegt. Der umgekehrte Fall gilt für den Flur. Dies liegt vor allem daran, daß größere Energiemengen bei FAST auch im Flur direkt freigesetzt werden. Bei MRFC dagegen wird die gesamte Energie im Brandraum freigesetzt. Dabei wird nur ganz kurzzeitig bei etwa 6 Minuten ein großer etwa 4-facher Luftunterschub erreicht (  $\varphi$ -Wert auf Anlage 3.1.2 rechts oben ). Dies geschieht zu dem Zeitpunkt, wenn die Heißgasschicht den Fußboden erreicht. Dadurch entsteht kurzzeitig ein Wärmestau, wobei der Luftwechsel von etwa 150 auf etwa 120-fachen Luftwechsel zurückgeht, sich aber wieder sehr rasch stabilisiert. Sofort tritt eine deutliche Erwärmung des Flures auf etwa 250 °C ein. Die anschließenden Räume werden ebenfalls relativ rasch erwärmt.

Die Verqualmung des Flures im OG tritt nach etwa 9 Minuten ein. Die Rauchgasschicht im Treppenraum erreicht nach etwa 14 Minuten den Fußboden. Für die Gaszusammensetzung gilt, daß mit MRFC geringere Konzentrationen der Verbrennungsprodukte berechnet werden als mit FAST. Dies gilt vor allem für die Phase des abklingenden Brandes, bei dem die Sauerstoffkonzentrationen in allen Räumen wieder deutlich zunehmen, vor allem bedingt durch das offene Fenster im Brandraum.

### **5.2.2 Zweigeschossige Konfiguration mit Öffnungssequenz an Verbindungstüren und langen Fluren**

Für den Fall, daß lange Flure angeordnet werden, ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie für 5.1.1 ( Anlage 3.1.2 ). Der Luftwechsel im Brandraum bleibt fast gleich bedingt durch den dominierenden Einfluß des geöffneten Fensters. Die Verqualmung der einzelnen Räume verläuft fast genauso, allerdings um etwa 1 Minute verzögert. Die Temperatur im Brandraum erreicht wieder etwa 500 °C. Im Flur wird eine um etwa 100 °C geringere Temperatur errechnet. Mit zunehmender Entfernung vom Brandraum sind die Temperaturunterschiede geringer und betragen im OG-Flur nur noch wenige °C.

Der Verlauf der nicht dargestellten Druckdifferenz zur Umgebung weist in den ersten 3 Minuten einen geringen Überdruck von etwa 1 Pa auf. Er kehrt sich dann um, bis nach etwa 7 Minuten ein Unterdruck von etwa 12 Pa erreicht wird. Diese Tendenz stimmt mit den Ergebnissen von FAST überein ( Anlage 2.14.3 ). Allerdings wird von FAST in den ersten 3 Minuten ein höherer Überdruck von maximal 10 Pa errechnet, während der Maximalwert für den Unterdruck etwa gleich ist.

Der Vergleich der Gastemperaturen weist für FAST deutlich höhere Temperaturen der Heißgasschicht und geringere Temperaturen der unteren Schicht auf. Die Tendenz einer noch deutlicheren Temperaturabnahme mit zunehmender Entfernung vom Brandraum stimmt ebenfalls überein.

### **5.2.3 Zweigeschossige Konfiguration mit offenen Verbindungstüren**

Bei von Anfang an geöffneten Verbindungstüren gestaltet sich die Verqualmung des Brandraumes bei etwas geringeren Gastemperaturen bei den Berechnungen mit MRFC ( Anlage 3.3.2 ) ungünstiger als bei den Ergebnissen von FAST ( Anlage 2.15.3 ). Die Schichthöhen in den restlichen Räumen sind ähnlich groß, wobei sich zeitliche Unterschiede von 1 bis 2 Minuten ergeben. Nennenswerte Unterschiede sind nur für den Treppenraum erkennbar, wobei die Verqualmung nach FAST um etwa einen Meter günstiger ausfällt.

Die Gastemperaturen nehmen nach beiden Modellen wieder ähnlich zu 5.2.1 nach der gleichen Tendenz ab. Für die Gaszusammensetzung gilt ebenfalls der in 5.2.1 beschriebene Sachverhalt.

#### **5.2.4 Zweigeschossige Konfiguration mit offenen Verbindungstüren und langen Fluren**

Auch für diesen Fall gelten die bisherigen Feststellungen. Die Ergebnisse zeigen für MRFC ( Anlage 3.3.2 ) bei Anordnung von langen Fluren wieder eine deutliche Abnahme der Gastemperaturen mit zunehmender Entfernung vom Brandraum, wobei auch die Verqualmung der entfernteren Räume etwa 2-3 Minuten später erfolgt. Die Gastemperaturen sind für FAST ( Anlage 2.16.3 ) für den Brandraum wieder höher als die mit MRFC berechneten.

#### **5.2.5 Folgerungen aus der Vergleichsrechnung**

Trotz der z. T. bestehenden Modellunterschiede zwischen MRFC und FAST kann aus dem Vergleich der 4 durchgeführten Berechnungen festgestellt werden, daß die Tendenz der Ergebnisse weitgehend übereinstimmt, auch wenn punktuell Abweichungen für einzelne Größen auftreten. So gilt z. B. für beide Modelle, daß

- eine Vergrößerung der Flurfläche die Rauchausbreitung verzögert,
- bei fehlender Entqualmung des Treppenhauses eine relativ rasche Verqualmung des Flures im OG erfolgt,
- das Öffnen von Türen im Verlaufe des Fluchtvorganges wesentlich ist für die Ausbreitung der Rauchgase
- zwischen den Ergebnissen bei einer um etwa 4 min verzögerten Öffnung der Raumtüren und bei ständig offenen Verbindungstüren nur geringe Unterschiede festgestellt werden.

Es muß allerdings darauf verwiesen werden, daß diese Aussagen bei der vergleichsweise geringen Anzahl von durchgeführten Berechnungen für den Fall gelten, daß keine gravierenden Modellunterschiede aufgrund der Abbranddynamik und der sonstigen Randbedingungen greifen. In diesem Zusammenhang sei vor allem die Tatsache genannt, daß bei FAST teilweise erhebliche Mengen des Brandgutes in entfernteren Räumen umgesetzt werden, während die Energiefreisetzung im Brandraum u. U. sogar ganz verschwindet. Dieser Fall kann mit dem Modell MRFC nicht nachvollzogen werden. Vergleichsrechnungen für ein ganz anderes Brandszenario zu Brandversuchen in einem Kernkraftwerk haben überdies größere Unterschiede für die Ergebnisse der beiden Modelle ergeben /11, 24/.

Wenn die größere Anzahl der Abbrandmodelle von MRFC genutzt werden soll, dann können Vergleichsrechnungen mit FAST etwa in der Art durchgeführt werden, daß der von MRFC ermittelte Abbrandratenverlauf für die Berechnungen mit FAST vorgegeben wird.

## 6. ERGEBNISSE DER RECHENPROGRAMME EXITT UND TENAB

Für die in Bild 6.1 dargestellten Besetzungsvarianten wurden die Programmteile EXITT und TENAB angewendet und zwar für die Versionen wie sie in 4.1 und 4.3 (jeweils offene bzw. geschlossene Brandraumtür) beschrieben wurden.

Bei der Besetzung sollte Person Nr. 6 die Krankenschwester darstellen, Personen 1-5 sollten behinderte bzw. medikamentierte Patienten simulieren, wobei der optionelle Schlafzuslag programmseitig als Simulation einer betrunkenen Person gedacht ist.

Person Nr.	Raum Nr. FAST/ EXITT	Alter	männl./ weibl.	Schlafzustand	Schlafzuslag	benötigt Hilfe	Geschwindigkeit
<b>Fall A</b>							
1	1/1	30	männl.	schlafend	10	ja	1.3
2	2/2	30	männl.	schlafend	10	nein	1.3
3	2/2	30	männl.	schlafend	10	nein	1.3
4	3/3	7	männl.	schlafend	0	ja	1.3
5	3/3	5	männl.	schlafend	0	ja	1.3
6	6/16	30	weibl.	wach	0	nein	1.3
<b>Fall B</b>							
1	1/1	70	männl.	schlafend	10	ja	1.3
2	2/2	70	männl.	schlafend	10	nein	1.3
3	2/2	70	männl.	schlafend	10	nein	1.3
4	3/3	70	männl.	schlafend	0	ja	1.3
5	3/3	70	männl.	schlafend	0	ja	1.3
6	6/16	30	weibl.	wach	0	nein	1.3

Bild 6.1: Stationsbesetzung

In Anlage 4 sind zwei zeitliche Abläufe je Person dargestellt. Wesentliches Merkmal von EXITT ist, daß die Verhaltensmuster sich deutlich an dem Verhalten von Bewohnern eines 1-Familienhauses orientieren. So geht grundsätzlich Person Nr. 2 (= Patient) zunächst zu Person Nr. 6 (= Krankenschwester), um diese zu warnen, um dann Person Nr. 4 oder 5 zu retten. D. h. Person Nr. 2 verhält sich wie ein Familienvater. Auch bei Änderung der Altersstruktur (Fall B) erhält man das gleiche Verhaltensmuster. Von daher gesehen ist EXITT nicht geeignet um die Situation in einem Krankenhaus zu simulieren.

Ferner erfolgt die Rettung grundsätzlich zum Fenster, was bei 1-geschossigen amerikanischen 1-Familienhäusern sicherlich sinnvoll ist, aber die hier vorliegende Situation nicht zufriedenstellend wiedergibt.

Desweiteren wurden Fälle mit einer rauchmeldergesteuerten, akustischen Warnanlage untersucht. Sofern der Brand in einem Raum mit nicht-gehbehinderten Personen entsteht, erfolgt die Brandmeldung naturgemäß schneller durch Personen als durch den Rauchmelder; daher "bringt" der Rauchmelder rechnerisch keinen zeitlichen Vorteil.

Bei Brandentstehung in einem unbesetzten Raum ergibt sich durch Warnanlage/Rauchmelder ein zeitlicher Gewinn von 2 Minuten. Diese Zeit ist von größter Bedeutung, denn die Simulation ergibt für den Fall, daß ein Rauchmelder installiert ist, daß alle Personen gerettet werden mit einer geringen Verzögerung von 10 - 20 Sekunden gegenüber dem Fall, bei dem der Brandraum besetzt ist. Ohne Rauchmelder werden 3 Personen im Gebäude gefangen und können nicht gerettet werden. In Anbetracht jüngster japanischer Untersuchungen, die ein erhebliches Brandrisiko bei alten/behinderten Personen aufzeigen, kann dieser Zeitgewinn Bedeutung haben.

Mit TENAB wird die Belastung der Personen bestimmt und mit Schwellwerten verglichen. Bei den berechneten Fällen erreichten Bewohner jeweils die Fenster, bevor Schwellenwerte erreicht wurden. Im Modell verbleiben die Leute beim Erreichen der Fenster im jeweiligen Raum, so daß rechnerisch nach weiteren ca. 10 Minuten lethale Schwellenwerte erreicht werden. Das Rechenprogramm simuliert nicht das Verlassen des Raumes durch die Fenster, z. B. über eine Feuerwehrlleiter. Zur Simulation der Fensteröffnung bei Erreichen des Fensters durch eine Person, müßte das Programm FAST mit neuen Eingabedaten neuerlich gestartet werden. Mit TENAB könnten dann die neuerlichen Schwellenwerte für die thermische und toxische Belastung der Person am offenen Fenster berechnet werden. Im vorliegenden Fall wurden derartig erweiterte Simulationen nicht durchgeführt.

## **7. ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN**

### **7.1 Ergebnisse der Brandsimulationen**

Aus der Anwendung des Rechenmodells FAST können aus den vorgenommenen Simulationen folgende Folgerungen im Hinblick auf eine Personengefährdung gezogen werden, die auch durch Berechnungen mit MRFC und Plausibilitätsüberlegungen gestützt werden:

#### **a) Raumhöhe:**

Mit zunehmender Raumhöhe nimmt die Personengefährdung aus Rauch- und Temperatureinwirkung ab. Da in Altbauten i.a. größere Raumhöhen zur Verfügung stehen als in Neubauten, bieten Altbauten mit entsprechenden Raumhöhen - sofern sie nicht durch untergehängte Decken auf Neubaumaße reduziert werden - eine Sicherheitsreserve.

Diese Sicherheitsreserve kann genutzt werden, wenn die nachträgliche Bildung von Rauchabschnitten mit Schwierigkeiten verbunden ist. Geht man von einer Mindest-Raumhöhe von 2.40 m aus, können folgende Anhaltswerte gegeben werden: Bei einer Raumhöhe von 3.40 m könnten

- sofern diese in allen Aufenthaltsräumen und im Flur zur Verfügung steht, die Abstände von Rauchschutztüren um das 1.5-fache vergrößert werden,
- sofern diese nur im Flur zu Verfügung steht, die Abstände von Rauchschutztüren um das 1.2-fache vergrößert werden.

Bei der nachträglichen Bildung von Brandabschnitten (mit Feuerschutzabschlüssen im Zuge von Rettungswegen) können Raumhöhen auch als Kriterium herangezogen werden, aber nur in Verbindung mit anderen Kriterien.

#### **b) Flurflächen:**

Ein großflächiger Flur wirkt sich im Hinblick auf die Verrauchung des Flures sowie der an den Flur angrenzenden Räume günstig aus. Bei den Variationen von Abschnitt 4 wurde zwar nur der günstige Einfluß einer Flurverlängerung untersucht, die Tendenz gilt aber gleichermaßen für den günstigen Einfluß breiterer Flure. Da in Altbauten häufig breitere Flure zur Verfügung stehen als in Neubauten, besteht bei entsprechender Flurbreite eine Sicherheitsreserve.

Hinsichtlich der Flurlänge (Abstand von Rauchschutztüren) gilt es abzuwägen:

- einerseits vergrößert sich der betroffene Abschnitt mit zunehmender Flurlänge,
- andererseits wird mit zunehmender Flurlänge die Verrauchung im betreffenden Abschnitt "verdünnt".

#### c) Zimmertüren:

Das wirksamste Mittel um eine Rauchausbreitung zu behindern sind offensichtlich selbstschließende Türen zwischen Aufenthaltsräumen und Flur. Sofern aufgrund der Nutzung die Einrichtung selbstschließender Türen möglich ist, könnte auf die Unterteilung von Fluren in Rauchabschnitte verzichtet werden.

In Verbindung mit weiteren baulichen Anforderungen (z.B. an die Flurwände) können Erleichterungen für Feuerschutzabschlüsse in Brandwänden im Zuge von Rettungswegen in Frage kommen.

#### d) Treppenräume

Die Notwendigkeit selbstschließender Treppenraumtüren wurde durch die Variationen der Öffnungssequenzen von Türen im Zuge des Fluchtvorgangs bestätigt, ebenso wie die Notwendigkeit einer wirksamen Entrauchung im Treppenraum.

#### e) Umschließungsbauteile

Eine große Wärmespeicherkapazität der Umschließungsbauteile des Brandraums wirkt sich günstig auf den Temperaturverlauf aus. Bei Altbauten findet man häufig sehr massive Wände in Verbindung mit Decken, die nicht als feuerbeständig klassifizierbar sind. Zusammen mit einer Brandlastbetrachtung können fallweise Erleichterungen in Frage kommen.

## 7.2 Brandsimulationen im Einzelfall

Aufgrund vorgenannter Folgerungen sind die wesentlichen Erkenntnisse, die durch Anwendung des Rechenprogramms FAST derzeit erreichbar sind, tendenziell aufgezeigt worden.

Für eine Bewertung im Einzelfall A besteht die Möglichkeit - ausgehend von einem Referenzfall B - eine Bewertung im Bezug auf diesen Referenzfall vorzunehmen: "B ist günstiger als oder vergleichbar mit A". Auch angesichts erheblicher Modellunsicherheiten könnte eine solche Bewertung zumindest als Grundlage für bauaufsichtliche Entscheidungen dienen.

Hierzu können Referenzfälle oder ausgeführte Beispiele bauaufsichtlich vorgegeben werden (Scenario, Gebäudegeometrie und Brandkenngrößen). Anhand ausgewählter Gefährdungsparameter könnte dann vorgenannte Bewertung auf der Basis eines relativen Vergleichs erfolgen. Die bauaufsichtlichen Entscheidungen im Einzelfall ließen sich somit auf der Grundlage einer physikalisch begründeten Sicherheitsbetrachtung beeinflussen. Als Gefährdungsparameter werden vorgeschlagen:

- Temperaturverläufe
- Rauchsichtentwicklung in Verbindung mit der
- optischen Rauchdichte.

Andererseits muß festgestellt werden, daß möglicherweise auch bei einer solchen Bewertung verschiedene Probleme ungelöst bleiben. Hier sei nur an die Schwierigkeiten bei Gebäudeecken, Anbauten, bei offenen Treppen und der Rauchgasverteilung über Klimaanlage erinnert.

### **7.3 Programmteile EXITT und TENAB**

Wie in Abschnitt 6 erwähnt, entspricht das vorgegebene Verhaltensmuster dem Gruppenverhalten von Familienangehörigen; daher ist eine unmittelbare Anwendung derzeit nur auf Wohngebäude sinnvoll.

Natürlich wäre es möglich, auch andere Verhaltensmuster zu implementieren. Dabei liegt jedoch die Schwierigkeit bei der Erstellung der Wissensbasis: Das Verhaltensmuster wie es jetzt bei EXITT eingebaut ist, beruht auf umfangreichen Befragungen nach Wohnhausbränden in den USA. Aufgrund der Anzahl von Wohngebäuden in Verbindung mit der hohen Brandhäufigkeit in den USA kann somit ein repräsentativer "Datensatz" erstellt werden. Bei Kranken-/Pflegeanstalten sind diese Möglichkeiten schon wegen der vergleichsweise geringen Anzahl begrenzt. Hinzu kommt, daß sich die Verhaltensmuster je nach Art der Institution (Großklinikum verglichen mit kleinen Therapiehäusern) und Art der Patienten ändern können. Daher wird es schwierig, das Verhalten aufgrund von Erfahrungen und Daten vorzugeben. Vergleichbare Schwierigkeiten würden sich ergeben, wenn man die Verhaltensmuster von Menschen in Versammlungsstätten implementieren wollte.

Für den Fall, daß der Brandraum unbesetzt ist, kann die Anordnung von Rauchmeldern einen signifikanten Sicherheitsgewinn bringen, denn die Evakuierung der Bewohner kann dann u.U. bereits zu einem rechtzeitigen Zeitpunkt erfolgen. Die Simulationsrechnungen haben z.B. ergeben, daß eine um etwa 2 Minuten verzögerte Evakuierung zum Tod von drei Personen führen kann.

### **7.4 Folgerungen**

Mit Programmsystemen wie HAZARD ist eine objektivere Bewertung von Gefährdungen möglich. Allerdings muß sich die Bewertung auf physikalische Bewertungsparameter beschränken und sollte derzeit nur in Verbindung mit Referenzfällen erfolgen. Für die Überprüfung von Ersatzlösungen, die bei einer erforderlichen Abweichung von bestehenden Vorschriften erwogen werden, kann die Brandsimulation als sinnvolle Ergänzung zu den übrigen Beurteilungsmethoden angesehen werden. Dies gilt vor allem dann, wenn aufgrund der vorliegenden Gegebenheiten z. B. Erleichterungen gestattet werden müssen und ausreichende Erfahrungen nicht vorliegen.

Eine weitergehende Bewertung der tatsächlichen Personengefährdung kann mit Ausnahme des Wohnungsbaus (für den in Europa i. a. wenig Bewertungsbedarf besteht) in Aussicht gestellt werden, wenn durch entsprechende Aufbereitung der Wissensbasis die zugehörigen Verhaltensmuster der betroffenen Personen in das Programm-

system implementiert werden. Der Vergleich der Berechnungen mit MRFC und FAST hat ergeben, daß wesentliche Tendenzen von beiden Modellen übereinstimmend erkennbar sind, auch wenn für Einzelergebnisse teilweise Unterschiede festgestellt werden. Für die Verallgemeinerung dieser Aussagen sind allerdings weitere Vergleichsrechnungen erforderlich, bei denen u. U. auch mögliche Anwendungsgrenzen für die Rechenmodelle erkennbar werden. Prinzipiell ist es auch möglich, MRFC oder ein anderes Rechenprogramm anstelle von FAST in HAZARD zu integrieren, um die erweiterten Möglichkeiten zu nutzen. Diese Möglichkeit sehen prinzipiell auch die Autoren von HAZARD.

Eine Erweiterung der Modellannahmen von FAST kann und sollte erfolgen um Interpretationsfehlern vorzubeugen. Dies betrifft vor allem die Integration von speziellen Abbrandmodellen und Modellen für die chemische Reaktionskinetik, damit eine objektive und nachvollziehbare Bestimmung der Abbrandrate sowie der Quellterme für die Rauchgasproduktion gegeben ist.

## 8. LITERATUR

- / 1 / Bub, H.; Hosser, D.; Kersken-Bradley, M.; Schneider U.:  
Eine Auslegungssystematik für den baulichen Brandschutz, Brandschutz im Bauwesen, Heft 4, 1983.
- / 2 / Bukowski, R., et al.:  
HAZARD I: Software User's Guide, Technical Reference Guide and Example Cases, NIST Handbook 146, Vol. I - III, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland (USA), Juni 1989.
- / 3 / Cooper, L.Y.:  
Estimating the Environment and the Response of Sprinkler Links in Compartment Fires With Draft Curtains and Fusible Link -Actuated Ceiling Vents- Part I: Theory, National Bureau of Standards, NBSIR 88-3734, Gaithersburg, Maryland, April 1988.
- / 4 / Cooper, L. Y., Forney, G. P., Moss, W. F.:  
The Consolidated Compartment Fire Model (CCFM) Computer Code Application CCFM.VENTS-Part I-IV, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 4342-4345, Gaithersburg, Maryland (USA), July 1990.
- / 5 / DIN 18230 Vornorm Teil 1 und 2,  
Baulicher Brandschutz im Industriebau, Beuth Verlag, Berlin, November 1982.
- / 6 / Dobbernack, R.; Schneider, U.:  
Wärmebilanzrechnungen in Brandräumen unter Berücksichtigung der Mehrzonenmodellbildung, Teil III (Abschlußbericht), Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Dezember 1981.
- / 7 / Drysdale, D.:  
An Introduction to Fire Dynamics, Department of Fire Safety Engineering, University of Edinburgh, 1985.
- / 8 / Gahm, J.B.:  
Computer Fire Code VI - Volume 1+2, National Bureau of Standards , Gaithersburg, Maryland, NBS-GCR-83-451, Dezember 1983.
- / 9 / Gross, D.:  
Data Sources for Parameters Used in Predictive Modelling of Fire Growth and Smoke Spread, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, NBSIR 85-3223, September 1985.
- /10/ Kumar, S.; Cox, G.:  
The Application of a Numerical Field Model of Smoke Movement to the Physical Scaling of Compartment Fires, Fire Research Station, Borehamwood, Herts, Conference on 'Numerical Methods in Thermal Problems, Washington', 1983.

- /11/ Max. U.:  
Zur Berechnung der Ausbreitung von Feuer und Rauch in komplexen Gebäuden,  
Dissertation, Kassel, 1990.
- /12/ Mitler, H.E.:  
The Physical Basis for the Harvard Computer Fire Code, Division of Applied  
Sciences, Harvard University, Home Fire Project Technical Report No.34,  
October 1978.
- /13/ Mitler, H.E.; Rockett, J.A.:  
User's Guide to FIRST, A Comprehensive Single-Room Fire Model, National  
Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, NBSIR 87-3595,  
September 1987.
- /14/ Mitler, H.E.:  
Algorithm for the Mass-Loss Rate of Burning Wall, National Bureau of  
Standards, Gaithersburg, Maryland, NBSIR 87-3682, Dezember 1987.
- /15/ Quintiere, J.G.:  
Fundamentals of Enclosure Fire "Zone" Models, National Bureau of Standards,  
Center of Fire Research, Gaithersburg, Maryland, Presented at the National  
Fire Protection Association Annual Meeting, Cincinnati, Mai 1987.
- /16/ Rockett, J.A.; Morita, M.; Cooper, L.Y.:  
Comparisons of NBS/Harvard VI Simulations and Full-Scale, Multi-Room  
Fire Test Data, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland,  
NBSIR 87-3567, Juli 1987.
- /17/ Schneider, U.; Haksever, A.:  
State of Art Report: Modellierung der Brandentwicklung in Räumen,  
August 1984.
- /18/ Schneider, U. ; Hosser, D. ; Max, U. :  
Nachweisverfahren für den Brandschutz in Kernkraftwerken, Kassel,  
Oktober 1986.
- /19/ Schneider, U.; Max, U.:  
Abschlußbericht versuchsbegleitende Wärmebilanzrechnungen zur Serie  
BRA-E T51.2 und T52.1, HDR-Versuchsgruppe BRA-E, Kassel, November  
1987.
- /20/ Schneider, U.; Max, U.:  
Überprüfung der Faktoren m und w der DIN 18230, Tagungsband zu  
Braunschweiger Brandschutztagen 1988, Braunschweig, September 1988.
- /21/ Schneider, U.; Kersken-Bradley, M.; Max, U.:  
Abschlußbericht Untersuchungsvorhaben Flucht- und Rettungswege,  
Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit, Kassel, September 1989.

- /22/ Schneider, U., Max, U., Kersken-Bradley, M.:  
Zur Simulation der Rauchausbreitung in Flucht- und Rettungswegen, Tagungsband zu Braunschweiger Brandschutztagen 1989, Braunschweig, September 1989.
- /23/ Tanaka, T.:  
A Mathematical Model for a Compartment Fire, Building Research Institute BRI, Paper No. 70, Tokyo 1977.
- /24/ Max, U.:  
Reisebericht über den Aufenthalt beim National Institute of Standards and Technology (NIST) vom 17. Mai bis zum 16. August 1989, Abschlußbericht, Kassel, November 1989.

# **Anhang 1**

## **Auszugsweise Beschreibung der physikalischen Grundlagen des Rechenprogrammes MRFC**

1	Modellannahmen	A1
2	Massenbilanzen und Massenströme	A4
2.1	Abbrandmodelle	A9
3	Energiebilanzen und Energieströme	A11
4	Beurteilung der Rauchausbreitung in Flucht- und Rettungswegen	A21
4.1	Bestimmung der Gaszusammensetzung	A23
4.2	Verbrennungsvorgänge	A24
4.3	Bestimmung der Sichtweite in den einzelnen Gasschichten	A28

## AUSZUGSWEISE BESCHREIBUNG DER PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN DES RECHENPROGRAMMES M R F C

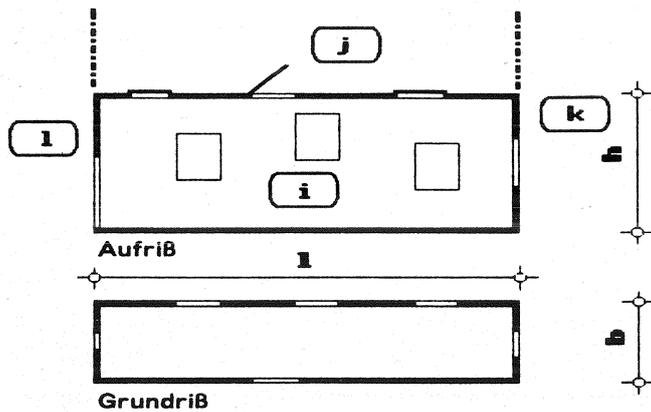
### 1 Modellannahmen

Zur Simulation von natürlichen Bränden wurde an der Universität Kassel ein Mehrraum-Mehrzonenmodell entwickelt, mit dem die das Brandgeschehen wesentlich bestimmenden Größen berechnet werden können. Im folgenden sollen die physikalischen Grundlagen für dieses Modell kurz beschrieben werden. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens kann / 11 / entnommen werden.

Dem Rechenprogramm MRFC ( **M**ulti **R**oom **F**ire **C**ode ) liegt ein Mehrzonen-Modell zu Grunde, bei dem über eine Kopplung über mehrere Zonen die das Brandgeschehen bestimmenden Parameter wie Gas- und Bauteiltemperaturen sowie Druckverteilungen und daraus resultierende Massenströme bestimmt werden können. Dabei wird in jedem einzelnen Raum der Gaskörper in einer oder in zwei Zonen abgebildet, für die jeweils die Massen- und Energiebilanzen gelöst werden. Als dritte Zone kommt der Nahbereich der Flammen hinzu, auf dessen genaue Abbildung hier nicht weiter eingegangen wird. Beim Zwei- Zonen- Modell bestehen die beiden betrachteten Schichten aus Gasen, für die eine homogene Temperaturverteilung angenommen wird. Die Massen- und Energiebilanzen werden getrennt für beide Schichten formuliert und im Programm iterativ gelöst.

In Bild 1.1 ist ein Element des Modells mit unterschiedlichen Annahmen für den betreffenden Raum dargestellt. Dabei ist oben ein Raum im Aufriß und im Grundriss aus einer betrachteten Mehrraumgeometrie herausgeschnitten. Der Raum  $i$  ist dabei Verbindungen zu den Räumen  $j$ ,  $k$  und  $l$ , über die ein Massen- und Energietransport stattfinden kann. In der Skizze ist berücksichtigt, daß an den Brandraum mehrere Räume anschließen. Der Normalfall für einen Brandraum mit Verbindung zur Umgebung ist als Sonderfall enthalten, wenn nur ein einziger Nebenraum berücksichtigt wird. Wird die Umgebung durch mehrere Räume abgebildet, für die jeweils konstante Verhältnisse unterstellt werden, so besteht zum Beispiel die Möglichkeit, ein Querlüftung zu simulieren, wenn an den Außenseiten unterschiedliche Drücke so angesetzt werden, daß die Druckdifferenz einer bestimmten Windgeschwindigkeit entspricht. Je nach Brandverlauf sind für die Berechnung unterschiedliche Annahmen für den Gaskörper zu treffen. Dieser ist bei einer vorhandenen beziehungsweise in der Ausbildung begriffenen Rauchgasschicht sowie einem Brand in zwei Gaskörper ( Fälle 2 und 3 ) aufgeteilt. Sonst wird für jeden Raum eine einzige Schicht berücksichtigt ( Fälle 1 und 4 ) .

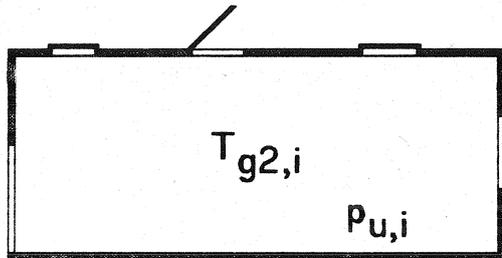
Die Zone über der aktuellen Brandfläche wird dabei allgemein als Plume bezeichnet. In der Regel wird darunter eine begrenzte Zone verstanden, in der die Umsetzung des Brandgutes in die Verbrennungsprodukte stattfindet, unter Einmischung von kalter Luft aus der unteren Schicht. Vereinfachend wird bei den Berechnungen der gesamte Bereich der Brandfläche bis zur Schichtgrenze  $z$  oder soweit  $z = 0$  ist, bis zur Hallenhöhe  $h$  mit der oberen Schicht zusammengefaßt. Für diese Mischzone wird eine homogene Temperatur bestimmt.



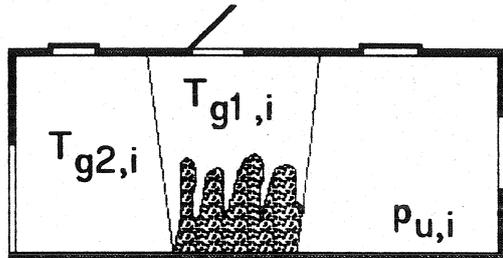
Ausschnitt aus Mehrraumgeometrie

Betrachtet wird Raum  $i$  mit der Länge  $l$ , der Breite  $b$  und der Höhe  $h$ , der durch Verbindungen mit den Räumen  $j$ ,  $k$  und  $l$  Massen und Energien austauschen kann.

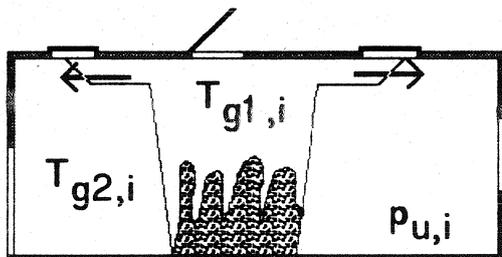
Die dargestellten Öffnungen sind variabel während des Brandes.



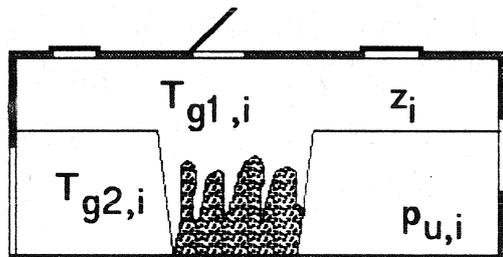
Fall 1  $T_{g1,i} = T_{g2,i}$   
 $z_i = 0$



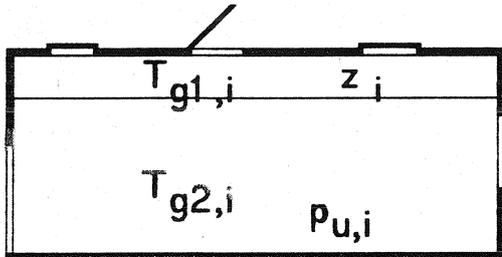
Fall 2 a  $z_i = 0$



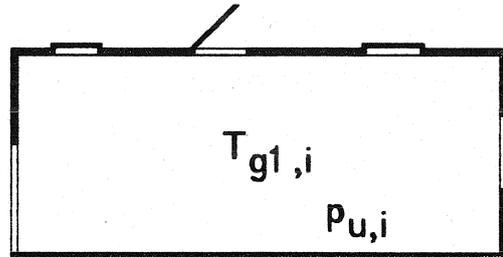
Fall 2 b  $z_i = 0$



Fall 3 a



Fall 3 b



Fall 4  $T_{g2,i} = T_{g1,i}$   
 $z_i = h_i$

Bild 1.1: Element einer Mehrraum Betrachtung und unterschiedliche Aufteilungen des Gaskörpers je nach Brandverlauf

Je nach Ventilationsverhältnissen und Brandverlauf können in den einzelnen Räumen eine, zwei oder drei Zonen vorliegen, womit das Brandgeschehen abgebildet wird. Im einzelnen sind diesbezüglich folgende Fälle unterschieden ( vgl. Bild 1.1 ) :

- Der Raum besteht aus einer einzigen kalten Schicht, die noch nicht verqualmt ist. Das ist der Ausgangszustand für alle Räume. Er gilt solange bis ein Zustrom von Heißgasen aus bereits verqualmten Räumen stattfindet. Für den Brandraum ist ab Brandbeginn ebenfalls ein anderes Modell zu verwenden. ( Fall 1 )
- Zum Brandbeginn bildet sich im Brandraum zuerst der Plume aus. Der Raum besteht dabei solange aus einer heißen Plume sowie einer kalten Schicht über die gesamte Hallenhöhe bis der betrachtete Bereich über dem Brandherd soweit erwärmt ist, daß sich ein Ceiling Jet ausbilden kann. Dieser Fall tritt auch auf, wenn die Ventilation (Dachentlüftung) im Bereich der Plume so groß wird, daß entsprechend der gesamten eingemischten Luft und dem Abbrand darüber genügend Abgase zum Gleichgewichtszustand abgeführt werden können. ( Fall 2 a )
- Ausgehend von Fall 2 a breiten sich dann anschließend die Heißgase in Form eines sogenannten Ceiling Jet aus. Dabei bildet sich eine Heißgasfront mit variabler Schichthöhe, die mit der Zeit die gesamte Halle ausfüllt. Dabei werden für den Plume und den Ceiling Jet die gleiche homogene Temperatur angenommen. ( Fall 2 b )
- Der Brandraum besteht aus einer heißen Plume und einer Heißgas-schicht, mit einer homogenen Mischtemperatur, sowie einer kalten unteren Schicht ebenfalls mit einer homogenen Temperatur. ( Fall 3 a )
- Bei anderen Räumen fehlt der durch den Brand bedingte Plume. Durch Zustrom von Heißgasen aus bereits verqualmten Räumen hat sich ebenfalls eine Heißgasschicht der Höhe  $z$  ausgebildet, für die ebenso wie für die restliche untere Schicht eine homogene Temperaturverteilung angenommen wird. ( Fall 3 b )
- Der Raum besteht nur aus einer verqualmten heißen Schicht. Dies trifft dann zu, wenn die Brandfläche die gesamte Grundfläche der Halle bedeckt, und wenn die Heißgasschicht sich über die gesamte Hallenhöhe erstreckt. Aus rechen-technischen Gründen muß dieses Modell auch für die Abkühlphase in allen Räumen verwendet werden, weil das Fehlen einer Brandquelle zu numerischen Schwierigkeiten bei der Berechnung der Schichthöhe führen kann, da Schwerkraftströmungen infolge einer Abkühlung von Gasen zur Zeit nicht berücksichtigt werden. ( Fall 4 )

Als unbekannte Größen gehen im MRFC - Modell in den dargestellten Fällen 2 und 3 für jeden Raum  $i$  in die Berechnung ein:

- Gastemperatur der heißen Zone  $T_{g1, i}$
- Gastemperatur der kalten Zone  $T_{g2, i}$
- Höhe der Heißgasschicht  $z_i$
- Druck am Fußboden  $P_{u, i}$

In der Anfangsphase des Brandes und nach Auftreten des Flash-Over liegt in den einzelnen Räumen jeweils nur eine einzige Schicht vor ( Fälle 1 und 4 ). Das bedeutet, daß in dieser Zeit mit einem anderen Gleichungssystem gearbeitet werden muß. In diesem Fall reduzieren sich die Bilanzen zu einer Massen- und einer Energiebilanz.

Mit diesen Unbekannten lassen sich alle Energie- und Massenströme beschreiben, wenn man davon absieht, daß für die Berechnung der Wandtemperaturen der Bauteile die Fouriergleichung gelöst werden muß. Bei einer homogenen Schicht ( Fälle 1 und 4 ) im untersuchten Raum verbleiben die Temperatur sowie der Druck am Fußboden als Unbekannte.

Die Kopplung zwischen den einzelnen Räumen erfolgt dadurch, daß die Abflüsse aus den angekoppelten Räumen als Zufluß der vorgeschalteten Räume wieder in die Bilanz eingehen. Die Verbindung zwischen den Heißgasschichten und den kalten Schichten wird über die Einmischströme und somit über die Bilanzen der Plume hergestellt.

Zur Lösung stehen für jede Schicht eine Massen- und eine Energiebilanz zur Verfügung. Das entstehende umfangreiche Gleichungssystem wird mit einer modifizierten Powell Hybrid Methode gelöst. Ausgehend von einem Startwert ( alter Zustand ) werden dabei die Unbekannten solange variiert, bis alle Gleichungen mit einer vorgegebenen Genauigkeit erfüllt sind.

## 2 Massenbilanzen und Massenströme

Unter der Voraussetzung, daß in dem betrachteten Raum zwei Schichten und der Brandherd vorliegen, ergeben sich die in Bild 2.1 gezeigten Massenströme, für die zu jedem Zeitpunkt das Gleichgewicht zu formulieren ist. Der dargestellte Zustand gilt für den Fall einer voll ausgebildeten Heißgasschicht mit Teilflächenbrand, bei dem alle dargestellten Dachöffnungen zum augenblicklichen Zeitpunkt geöffnet sind.

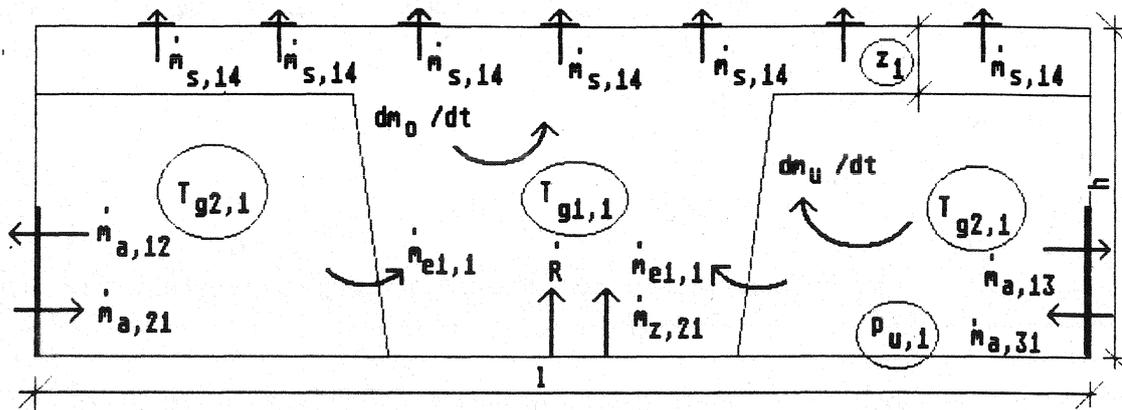


Bild 2.1: Massenströme im Brandraum unter Berücksichtigung von drei Außenräumen mit vorhandener Heißgasschicht

Die beiden Massenbilanzen, die gelöst werden, lauten für den Raum  $i$  bei zwei Zonen:

- für die Heißgasschicht

$$dm_{1,i} / dt + \sum \dot{m}_{s,ij} - \sum \dot{m}_{s,ji} - \dot{m}_{e1,i} + \dot{m}_{e2,i} - \dot{R}_i = 0 \quad \text{Gl. ( 2.1 )}$$

- für die untere Gasschicht

$$dm_{2,i} / dt + \sum \dot{m}_{a,ij} - \sum \dot{m}_{a,ji} + \dot{m}_{e1,i} - \dot{m}_{e2,i} = 0 \quad \text{Gl. ( 2.2 )}$$

Für einen Raum mit einer homogenen Schicht reduzieren sich die Massenbilanzen zu :

$$dm_{1,i} / dt + \sum \dot{m}_{s,ij} - \sum \dot{m}_{s,ji} - \dot{R}_i = 0 \quad \text{Gl. ( 2.3 )}$$

für einen Raum mit einer heißen Schicht, bzw. für einen Raum, für den während der gesamten Berechnung eine Zone angesetzt wird und zu

$$dm_{2,i} / dt + \sum \dot{m}_{a,ij} - \sum \dot{m}_{a,ji} = 0 \quad \text{Gl. ( 2.4 )}$$

für einen Raum mit einer kalten Zone, in dem der Aufbau einer Heißgasschicht erwartet wird.

Darin bedeuten :

$$\begin{aligned} dm_{1,i} / dt &= d(V_{1,i} \cdot \rho) / dt \\ &= \text{zeitliche Massenänderung der heißen Schicht im Raum } i \text{ durch} \\ &\quad \text{Temperatur- und Volumenveränderung} \end{aligned}$$

- $\frac{dm_{2,i}}{dt} = d(V_{2,i} \cdot \rho) / dt$   
 = zeitliche Massenänderung der kalten Schicht im Raum i durch Temperatur- und Volumenveränderung
- $\dot{m}_{s, ij}$  = Massenströme aus der heißen Zone des Raumes i in Raum j
- $\dot{m}_{s, ji}$  = Massenströme in die heiße Zone des Raumes i aus Raum j
- $\dot{m}_{a, ij}$  = Kaltgasmassenströme aus der unteren Zone des Raumes i in Raum j
- $\dot{m}_{a, ji}$  = Kaltgasmassenströme in die untere Zone des Raumes i aus dem Raum j
- $\dot{m}_{e1, i}$  = durch Einmischung von unten nach oben eingetragene Massenströme
- $\dot{m}_{e2, i}$  = durch Einmischung von oben nach unten eingetragene Massenströme
- $\dot{R}_i$  = Abbrandrate im Raum i. Zur Zeit kann nur der Abbrand in einem Raum berücksichtigt werden.

Die Umgebung ist im Sinne dieser Definition als benachbarter Raum mit konstanter Temperatur aufzufassen.

Zur Bestimmung der Einmischterme  $\dot{m}_e$  sind in der Literatur umfangreiche Studien bekannt, aus denen die Massen- und Energieströme innerhalb eines Raumes als Austauschströme zwischen den beiden Schichten bestimmt werden können. Dabei hat sich in den meisten Fällen die in dargestellte Beziehung von Mc' Caffrey und Cox bewährt. Daher wurde sie in das bestehende Programm aufgenommen. Für die Einmischung an Öffnungen sind einige Modifikationen vorgenommen worden, die aus Wärmebilanzrechnungen im Rahmen von Mehrraumuntersuchungen aus Großversuchen abgeleitet wurden.

Die Terme  $\dot{m}_{e2, i}$  berücksichtigen die Rückeinmischung von Heißgasen in die untere Zone aufgrund von entgegengesetzt gerichteten Strömungen. In der Energiebilanz kann dieser Anteil nun berücksichtigt werden, da die Annahme, daß die untere Gasschicht den Umgebungsbedingungen genügt, aufgegeben wurde. Da zur Zeit auch keine genaueren Untersuchungen dazu vorliegen, wurde dieser Term in der jetzigen Programmfassung nach Jones / 2 / bestimmt. Zukünftig wird aber verstärkte Sorgfalt auf die physikalische und rechentechnische Realisierung dieses Massenstroms gelegt werden.

Die Massenströme zwischen einzelnen Räumen sowie zwischen Räumen und der Umgebung können physikalisch zur Zeit in folgender Form berücksichtigt werden:

- Massenströme durch vertikale Öffnungen
- Massenströme durch horizontale Öffnungen
- Massenströme durch Schächte
- Zwangsmassenstrom eines vorgegebenen Volumens
- geregelter Zwangsmassenstrom in Abhängigkeit von stöchiometrischer Verbrennung.

Im folgenden sollen die Massenströme durch horizontale und durch vertikale Öffnungen kurz dargestellt werden. Eine ausführliche Beschreibung auch für die anderen möglichen Strömungstypen kann / 11 / entnommen werden.

#### - horizontale und vertikale Ströme

Die Massenströme für horizontale und vertikale Öffnungen werden nach einem modifizierten Strömungsmodell ermittelt. Dabei stellen sich für den Fall, in dem Einmischungen stattfinden gekrümmte Stromlinien ein. Es werden zwei Fälle untersucht. Möglich sind das direkte Einströmen in die anliegende Schicht ohne Einmischung und ein Einmischen in die obere oder untere Schicht. Dies wird anhand eines Schwerkraftkriteriums überprüft. Obwohl im Strömungsmodell von horizontalen Stromlinien ausgegangen wird, erscheint die Anwendbarkeit des Modells doch gerechtfertigt, weil für den Bereich des Übergangs horizontale Stromlinien vorliegen, wenn auch auf einer kurzen Länge. Der Bestimmung liegt wegen der angenommenen Homogenität der Schichten die Bernoulli- Beziehung nach Gleichung (2.5) zu Grunde, die bei jeder Öffnung so anzuwenden ist, daß immer Teilbereiche betrachtet werden, in denen sich bei beiden Räumen die Rohdichten nicht ändern, wenn man davon ausgeht, daß die betrachteten Schichten relativ groß im Verhältnis zu den Öffnungen sind. Dies ist in der Regel gegeben.

Damit werden die Massenströme aus Raum i nach Raum j zu :

$$\dot{m}_{n, ij} = b_k \cdot c_k \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{n, i}} \cdot \int_{x_u}^{x_o} \sqrt{p_i(x) - p_j(x)} \cdot dx \quad \text{Gl. ( 2.5 )}$$

- mit:  $\dot{m}_{n, ij}$  = betrachteter Massenstrom der Art n ( heiß oder kalt)  
 $b_k$  = Breite der betrachteten Öffnung k  
 $c_k$  = Kontraktionskoeffizient der Öffnung k  
 $\rho_{n, i}$  = Dichte des strömenden Gases der Art n  
 $p_i(x)$  = Druck an der ausströmenden Seite an der Stelle x  
 $p_j(x)$  = Druck an der einströmenden Seite an der Stelle x  
 $x_o$  = obere Intervallgrenze  
 $x_u$  = untere Intervallgrenze .

Für horizontale Öffnungen wird  $x_o$  zu  $x_u$  und es gilt:

$$\dot{m}_{n, ij} = A_k \cdot c_k \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{n, i} \cdot (p_i - p_j)} \quad \text{Gl. ( 2.6 )}$$

mit:  $A_k$  = Fläche der horizontalen Öffnung .

#### - zeitlich regulierbare Ströme

Bei jeder Ventilation kann zudem berücksichtigt werden, daß sich der Öffnungsgrad der entsprechenden Öffnungen im Verlauf des Brandes von völliger Geschlossenheit bis zur gänzlichen Öffnung verändern kann (Bild 2.7 ). Dadurch ist es möglich, das Öffnen und Schließen von Dachentlüftungen, Türen und Fenstern sowie den geregelten Einsatz von mechanischen Fördereinrichtungen zu simulieren, um den Einfluß der Ventilation auf das Brandgeschehen zu studieren.

So kann etwa berücksichtigt werden, daß Rauch- und Wärmeabzüge erst bei einer bestimmten Heißgastemperatur geöffnet und Lichtkuppeln erst bei einer bestimmten Temperatur zerstört werden. Die Öffnungen werden dann bei vorgegebenen Grenztemperaturen zerstört, für die z. B. die Deckentemperaturen als Kriterium verwendet werden. Weitere Möglichkeiten bestehen darin, den Öffnungsgrad zeitlich vorzugeben oder abhängig von der Druckdifferenz an der Öffnung zu steuern.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Berücksichtigung der Tatsache, daß Türen oder Fenster im Verlauf von Flucht- und Rettungsmaßnahmen ganz oder teilweise geöffnet oder geschlossen werden. Auch der Einsatz von stationären oder mobilen Entqualmungseinrichtungen mit definierter Förderleistung kann z.B. in Abhängigkeit von der Zeit, der Heißgastemperatur oder dem anstehenden Differenzdruck in die Simulation eingehen.

Die Möglichkeit der variablen Öffnungen kommt aus der Nachrechnungen von Versuchsergebnissen. Tatsächlich kann sie in zweierlei Hinsicht genutzt werden. Zum einen führt die Annahme einer verzögerten Öffnung der Dachöffnungen zu einer praxisgerechten Berechnungsweise, denn bei einem Brand werden die Lichtkuppeln beziehungsweise Rauch- und Wärmeabzüge mit einer zeitlichen Verzögerung geöffnet, was in der Regel durch ein Versagen des Abdeckmaterials oder häufiger durch eine automatische Öffnung erreicht wird, die durch Temperaturfühler ausgelöst wird. In vielen Fällen erfolgt eine Öffnung der RWA durch die Werkfeuerwehr in der Praxis bevor eine automatische Öffnung erfolgen würde. Dadurch ist eine zusätzliche Sicherheit vorhanden. Zum anderen kann durch eine Staffelung der Ansprechtemperaturen über die Halle verteilt der Tatsache Rechnung getragen werden, daß in der Praxis die Temperatur in der Heißgasschicht nicht homogen ist, sondern durch Einmischeffekte und Abkühlung an Wänden und Einbauten, vom Brandherd zu den Enden hin abnimmt. Dadurch ergibt sich in der Rechnung das realistische Ergebnis, daß die Öffnungen in der Nähe des Brandes zuerst geöffnet werden, während die weiter entfernt liegenden mit einer von der Heftigkeit des Brandes abhängigen Verzögerungszeit geöffnet werden.

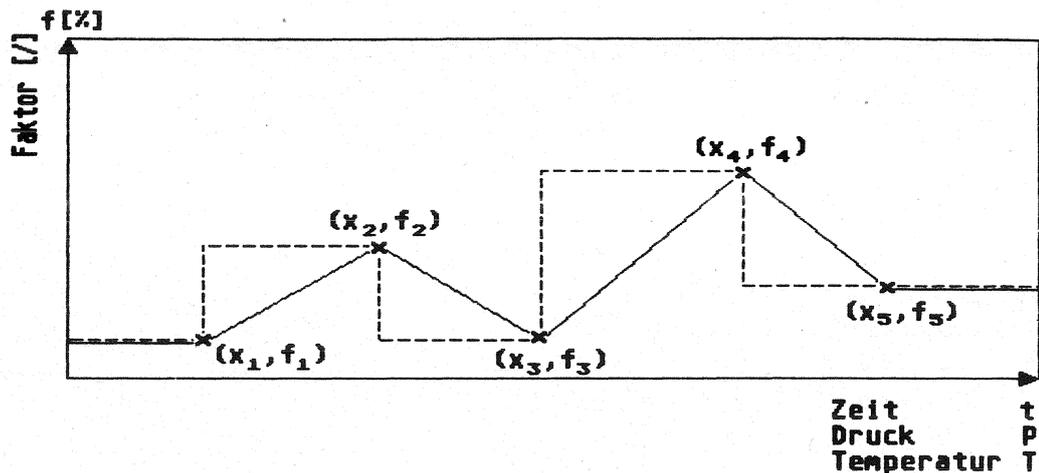


Bild 2.7: Zeitlich veränderliche Öffnungen in Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur oder von der Druckdifferenz

## 2.1 Abbrandmodelle

Einen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse der Brandsimulation hat die Bestimmung der pro Zeiteinheit vom Brandgut in Abbrandprodukte umgesetzten Menge. Diese Menge stellt in Gl. 2.1 bis 2.4 die Abbrandrate  $\dot{R}$  dar. Dabei ist zu unterscheiden, ob genügend Sauerstoff für eine vollständige Verbrennung dieser Menge zur Verfügung steht. Wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist, findet eine stöchiometrische Verbrennung statt und der Brandablauf ist brandlastgesteuert. Das bedeutet, daß die Abbrandrate von der Ventilation kaum beeinflusst nur vom Brandgut und der Brandfläche abhängt. Dabei wird die gesamte verdampfte (pyrolysierte) Menge des Brandgutes durch chemische Umwandlungen bei maximaler Energiegewinnung in Brandgase umgesetzt. Dies stellt bei sonst gleichen Randbedingungen für die Konstruktion den ungünstigsten Fall dar. Bei Sauerstoffmangel findet dagegen ein ventilationsgesteuerter Brand statt. Das führt zu einer unvollständigen Verbrennung, bei der größere Mengen von CO und gasförmigen und festen unverbrannten Kohlenstoffverbindungen in die Rauchgase gelangen.

Für die Bestimmung der Abbrandrate stehen im Programm umfangreiche Modelle zur Verfügung. Sie sind:

- Vorgabe einer Abbrandfunktion über drei Bereiche mit jeweils vier Stützstellen (günstig zur Vorgabe von Trapezfunktionen)
- Vorgabe über bis zu 100 Stützstellen, zwischen denen linear oder durch Spline-Funktionen interpoliert wird
- Abbrandmodell für Holzkrippen
- temperatur- und ventilationsabhängiges Ölbrandmodell

- temperatur- und ventilationsabhängiges Kabelbrandmodell
- geometrisches Ausbreitungsmodell für Hallen

Die beiden erstgenannten Modelle eignen sich besonders gut zum Nachvollziehen von durchgeführten Brandversuchen, bei denen die Gültigkeit der Modelle für den Massen- und Energietransport überprüft wurde / 19, 18 /. Dabei wird vor den Berechnungen der zeitliche Verlauf der Abbrandrate vorgegeben, wie er im Versuch beobachtet wurde. Die restlichen Modelle sind aus Versuchen abgeleitet worden, um bestimmte Gegebenheiten auszunutzen. Dabei findet eine mehr oder weniger starke Rückkopplung des Brandverlaufs auf die Entwicklung der Abbrandrate statt. Die stoffspezifischen Modelle für Holz-, Öl- und Kabelbrandlasten sind dabei nur von der Geometrie des Brandraums abhängig. Die restlichen wesentlichen Einflußgrößen wie Temperatur und Sauerstoffzufuhr sind vom Brandverlauf abhängig / 18 /.

**-vorgegebene Abbrandfunktion:**

Die Abbrandrate wird aus einer Reihe von Stützstellen durch eine funktionale Interpolation bestimmt. Dies ist eine bei fast allen Simulationsmodellen enthaltene Möglichkeit für die Bestimmung der Abbrandrate durch Vorgabe von einigen Stützstellen. Bei einigen ist sie gar die einzige Möglichkeit. Die Vorgabe ist vor allem für solche Fälle interessant, bei denen der Verlauf zum Beispiel durch Versuche bekannt ist.

Bei einer Interpolation über drei Bereiche werden drei kubische Polynome bestimmt, die im Grenzfall ein Trapez bilden. In Bild 2.8 ist ein solcher Fall dargestellt. Diese Form ist für viele Fälle der Wärmebilanzrechnungen ausreichend, um zum Beispiel für äquivalente Branddauern ( vgl. 3.2 ) ausreichende Aussagen zu finden, denn diese ist nicht so stark vom exakten Verlauf der Abbrandrate abhängig, wie zum Beispiel die Gastemperaturen. Außerdem können damit sehr viele Brandverläufe ausreichend beschrieben werden.

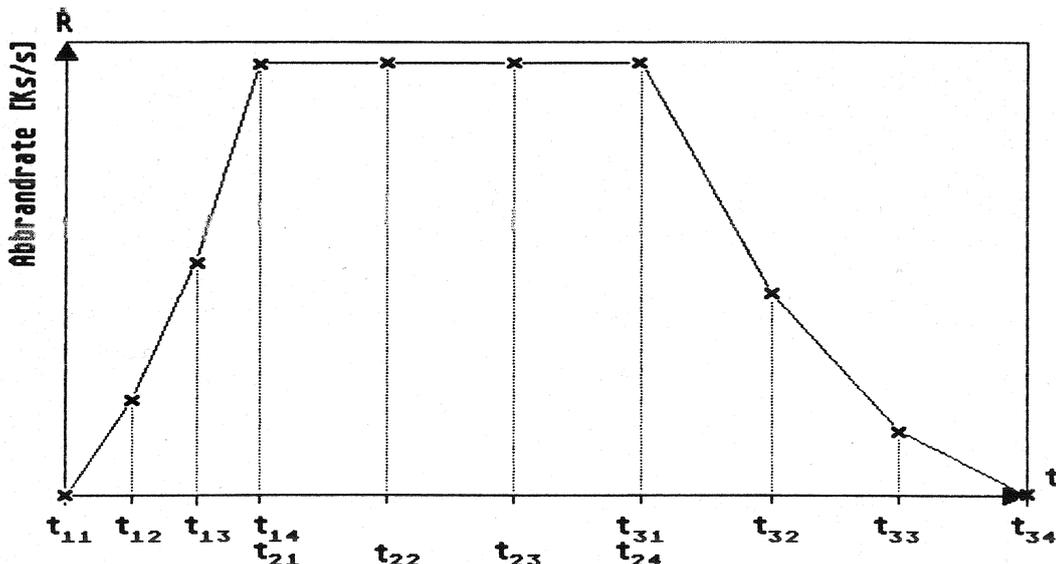


Bild 2.8: Darstellung der Abbrandrate durch Stützstellen in drei Bereichen

Im zweiten Fall ist die Anzahl der Stützstellen bis zu maximal 100 beliebig. Dazwischen kann entweder durch natürliche kubische Splinefunktionen oder durch Geraden interpoliert werden. Das Beispiel eines für eine Versuchsnachrechnung bestimmten Abbrandratenverlaufs ist in Bild 2.9 dargestellt. Bei Splineinterpolation ist darauf zu achten, daß die Verläufe über den Nullpunkt zwischen den Stützstellen sehr stark schwingen können und daher negative Abbrandraten liefern würden. Dies ist vor allem der Fall, deren Verlauf eher einer e-Funktion entsprechen. In diesem Fall ist eine lineare Interpolation vorzuziehen.

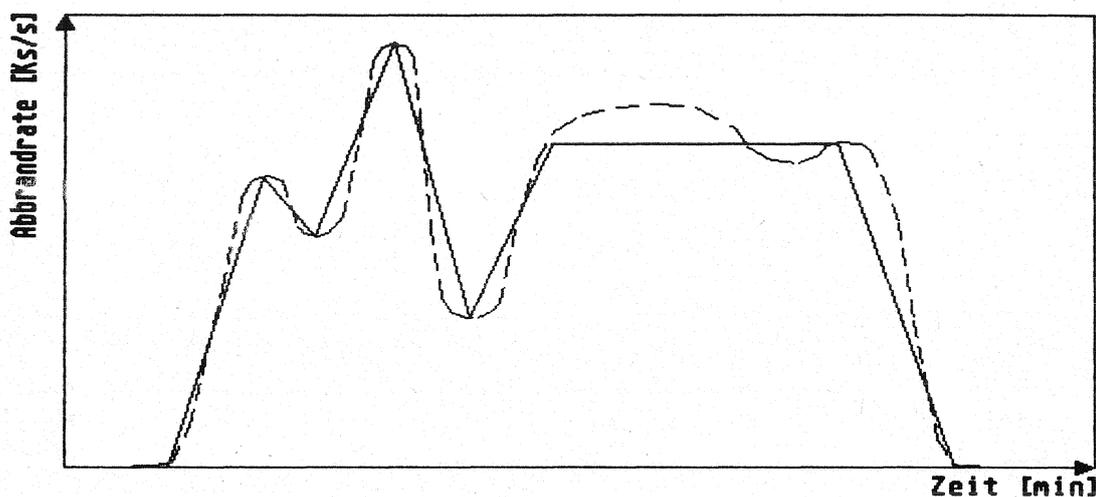


Bild 2.9: Mehrere Stützstellen mit Interpolation durch Geraden oder durch Splinefunktionen

### 3. Energiebilanzen und Energieströme

Unter der Voraussetzung, daß im Brandraum ein Feuerplume und zwei Schichten vorliegen, ergeben sich die in Bild 3.1 dargestellten Energieströme, für die zu jedem Zeitpunkt ebenfalls das Gleichgewicht zu formulieren ist. Dabei sind nicht alle Energieströme darstellbar, die im Programm berücksichtigt werden. So ist zum Beispiel die Einmischung von heißen Gasen aus der oberen Schicht in die Kaltgasschicht im dargestellten Fall nicht möglich, weil dafür das Vorhandensein zweier gegenläufiger Strömungen aus den beiden Schichten Voraussetzung ist. Diese kann sich erst ausbilden, wenn sich die Schichtgrenze im Bereich der vertikalen Öffnungen befindet. Aus Platzgründen konnten ebenfalls nicht alle Energieströme durch Dachöffnungen bezeichnet werden. Sinngemäß haben aber alle dargestellten Ströme die gleiche Bedeutung. Außerdem wurden die Ströme durch Konvektion ( $\dot{h}_{s,14}$ ) und Strahlung ( $\dot{h}_{0,14}$ ) zusammengefaßt

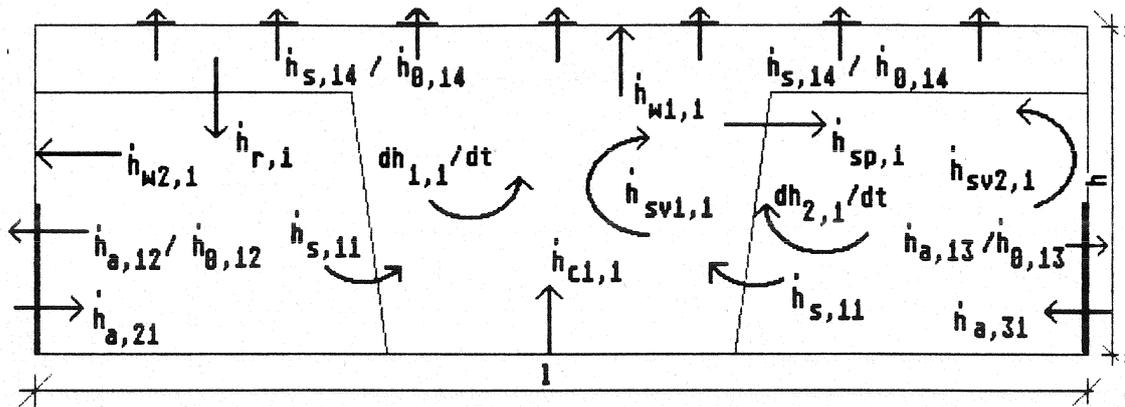


Bild 3.1: Energieströme im Brandraum unter Berücksichtigung von drei Außenräumen mit vorhandener Heißgasschicht ( Fall 3 a aus Bild 21 )

Es werden die Energieterme für Energieänderung der Gasschichten (  $dh/dt$  ), für Strahlung (  $\dot{h}_0$  ) und Konvektion (  $\dot{h}_s$  ) von Öffnungen, für Strahlung der Heißgasschicht in die kalte Zone (  $\dot{h}_r$  ) und des Plumes  $\dot{h}_{sp}$  sowie für den Energieaustausch mit Wänden (  $\dot{h}_w$  ) und Einbauten wie Ölbehälter und Stahlwände berücksichtigt (  $\dot{h}_{sv}$  ). Die Energiebilanz lautet dann für die Heißgasschicht des Raumes  $i$  :

$$dh_{1,i} / dt + \dot{h}_{ab\ 1,i} - \dot{h}_{zu\ 1,i} = 0 \quad \text{Gl. ( 3.1 )}$$

Die Energieabflüsse werden dabei zu

$$\dot{h}_{ab\ 1,i} = \sum \dot{h}_{s,ij} + \sum \dot{h}_{01,ij} + \sum \dot{h}_{wn,i} + \sum \dot{h}_{sv1,i} + \dot{h}_{r,i} \quad \text{Gl. ( 3.2 )}$$

und die Zuflüsse zu

$$\dot{h}_{zu\ 1,i} = \dot{h}_{cl,i} + \sum \dot{h}_{s,ji} + \sum \dot{h}_{01,ji} + \dot{h}_{sp\ 1,i} \quad \text{Gl. ( 3.3 )}$$

Die Energiebilanz der unteren Schicht lautet entsprechend:

$$dh_{2,i}/dt + \dot{h}_{ab\ 2,i} - \dot{h}_{zu\ 2,i} = 0 \quad \text{Gl. ( 3.4 )}$$

Die Energieabflüsse werden dabei zu

$$\dot{h}_{ab\ 2,i} = \sum \dot{h}_{a,ij} + \sum \dot{h}_{02,ij} + \sum \dot{h}_{wn,i} + \sum \dot{h}_{sv2,i} \quad \text{Gl. ( 3.5 )}$$

und die Zuflüsse zu

$$\dot{h}_{zu\ 2,i} = \dot{h}_{sp\ 2,i} + \sum \dot{h}_{a,ji} + \sum \dot{h}_{02,ji} \quad \text{Gl. ( 3.6 )}$$

In diesen Gleichungen bedeuten:

$dh_{1,i} / dt$  = Energieänderung der heißen Schicht des Raumes i

$dh_{2,i} / dt$  = Energieänderung der unteren Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{ab,1,i}$  = Energieabflüsse aus der heißen Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{zu,1,i}$  = Energiezuflüsse der heißen Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{ab,2,i}$  = Energieabflüsse aus der unteren Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{zu,2,i}$  = Energiezuflüsse der unteren Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{s,ij}$  = Konvektionsenergie der aus der heißen Schicht des Raumes i in den Raum j strömenden Gase

$\dot{h}_{s,ji}$  = Konvektionsenergie der in die heiße Schicht des Raumes i aus dem Raum j strömenden Gase

$\dot{h}_{a,ij}$  = Konvektionsenergie der aus der unteren Schicht des Raumes i in den Raum j strömenden Gase

$\dot{h}_{a,ji}$  = Konvektionsenergie der in die untere Schicht des Raumes i aus dem Raum j strömenden Gase

$\dot{h}_{01,ij}$  = Strahlungsenergie aus der heißen Schicht des Raumes i in den Raum j

$\dot{h}_{01,ji}$  = Strahlungsenergie in die heiße Schicht des Raumes i aus dem Raum j

$\dot{h}_{02,ij}$  = Strahlungsenergie aus der unteren Schicht des Raumes i in den Raum j

$\dot{h}_{02,ji}$  = Strahlungsenergie in die untere Schicht des Raumes i aus dem Raum j

$\dot{h}_{wn,i}$  = Energieaustausch mit dem n-ten Umfassungsbauteil des Raumes i. Es werden dabei 4 Teile betrachtet. Decke und Fußboden sowie Wand im oberen und im unteren Bereich

$\dot{h}_{sv1,i}$  = Energieaustausch mit Einbauten der heißen Schicht des Raumes i. Dazu zählen zur Zeit Ölbehälter und Stahlkörper. In diesem Term kann auch die durch Sprinkler aufgenommene Energie erfaßt werden.

$\dot{h}_{sv2, i}$  = Energieaustausch mit Einbauten der unteren Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{sp 1, i}$  = Abstrahlungsverluste des Plumes an die obere Schicht im Raum i

$\dot{h}_{sp 2, i}$  = Abstrahlungsverluste des Plumes an die untere Schicht im Raum i

$\dot{h}_{r, i}$  = durch Strahlung aus der heißen Schicht an Teile der unteren Schicht abgegebene Energie im Raum i

$\dot{h}_{c1, i}$  = durch Verbrennung in die heiße Schicht eingetragene Energie im Raum i .

Die Energieänderung der Schichten wird aus der zeitlichen Änderung der inneren Energie der betreffenden Schicht bestimmt. Dabei ist die zeitliche Änderung der Volumina und der Temperaturen zu beachten. Die Konvektionsenergien der Massenströme entsprechen deren Energiegehalt. In beiden Fällen wird die spezifische Wärmekapazität der Gase temperaturabhängig berücksichtigt.

Der Energieaustausch zwischen Gasschichten und Bauteilen sowie Einbauten besteht aus einem Konvektions- und einem Strahlungsanteil mit einem temperaturabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten für den konvektiven Anteil. Der Energieaustausch kann dabei in beiden Richtungen stattfinden. Er ist in der angegebenen Definition positiv für eine Wärmeabgabe aus der Gasschicht an das betreffende Objekt ( i.d.R. während der Hauptdauer des Brandes bei Erwärmung der Gasschicht) und negativ bei einer Wärmeabgabe aus der Gasschicht ( i.d.R. bei Abkühlung der Gasschicht, wenn die Gastemperatur niedriger ist als die betreffende Objekttemperatur).

#### - Energiefreisetzung

Die freigesetzte Energie ist davon abhängig, ob vollständige ( $\varphi \leq 1$ ) oder unvollständige ( $\varphi > 1$ ) Verbrennung vorliegt, wobei  $\varphi$  das Verhältnis von Sauerstoffbedarf für eine stöchiometrische Verbrennung zu tatsächlich vorhandenem Sauerstoff darstellt. ( vgl. Abschnitt 1.2.1). Der zur Verfügung stehende Sauerstoff wird aus der in den Plume eingetragenen Gasmenge und dem in der oberen Schicht noch vorhandenen Sauerstoff bestimmt. Dabei wird die Zusammensetzung der Gase berücksichtigt. Also ist

$$\varphi = r_{o_2} \cdot \dot{R} / \dot{m}_{o_2} \quad \text{Gl. ( 3.7 )}$$

Dabei bedeuten:

$r_{O_2}$  = Sauerstoffbedarf für die vollständige Verbrennung von einem kg Brennstoff

$\dot{R}$  = Abbrandrate

$\dot{m}_{O_2}$  = für die Verbrennung zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge

mit:

$$\dot{m}_{O_2} = \sum \dot{m}_{s, ji} \cdot Y_{O_2, j} - \sum \dot{m}_{s, ij} \cdot Y_{O_2, i} + V_{1, i} \cdot \rho_{1, i} \cdot Y_{O_2, 1, i} / dt$$

$\dot{m}_{s, ji}$  = aus Raum j in die obere Schicht des Raumes i einströmender Massenstrom

$\dot{m}_{s, ij}$  = aus Raum i in die obere Schicht des Raumes j einströmender Massenstrom

$Y_{O_2, i}$  = Sauerstoffgehalt der entsprechenden Schicht des Raumes i

$Y_{O_2, j}$  = Sauerstoffgehalt der entsprechenden Schicht des Raumes j

$V_{1, i}$  = Volumen der Heißgasschicht des Raumes i

$\rho_{1, i}$  = Rohdichte der Heißgasschicht des Raumes i

dt = Iterationsschrittweite

Die Strahlungsverluste des Plume ( $\dot{h}_{sp, i}$ ) werden nach einer geometrischen Zerlegung den oberen und unteren Umfassungsbauteilen zugeschlagen, so daß in die Heißgasschicht nur ein reduzierter Anteil eingetragen wird. Dies wird dadurch berücksichtigt, daß in allen Berechnungen ein Verlustfaktor für die Flammenstrahlung eingeht, der nach vorliegenden Erfahrungen zwischen 0,25 und 0,60 liegen kann. Dieser Faktor ist wegen einer zur Zeit noch fehlenden genaueren Strahlungsberechnung während des ganzen Brandverlaufs konstant. Er wird vom Benutzer vorgegeben. Dieser Umstand kann unter Umständen zu Schwierigkeiten bei der Berechnung von größeren Bränden führen, weil die Bauteile der unteren Schicht zu stark aufgeheizt werden. Dies ist ein Zeichen dafür, daß die Strahlungsverluste zu hoch angesetzt werden. In diesem Fall ist die Berechnung mit einem kleineren Verlustfaktor neu zu starten. Dann ergibt sich die Energiefreisetzung des Brandes  $\dot{h}_{c1, i}$  zu:

$$\dot{h}_{c1, i} = \begin{cases} (1-f) \cdot \dot{R} \cdot H_{ui} & \text{für } \varphi \leq 1 \\ (1-f) \cdot \dot{R} \cdot H_{ui} / \varphi & \text{für } \varphi > 1 \end{cases} \quad \text{Gl. ( 3.8 )}$$

mit:  $f$  = Verlustfaktor (Flammenstrahlung)

$\dot{R}$  = Abbrandrate

$H_{ui}$  = unterer Heizwert

$\varphi$  = stöchiometrischer Verbrennungsfaktor .

Für den Fall, daß der Brandraum nur aus einer heißen Schicht besteht (Vollbrandmodell), verschwindet der Verlustfaktor  $f$  und die gesamte freigesetzte Energie wird zunächst in die heiße Schicht eingetragen. Eine Nachverbrennung und damit eine zusätzliche Energiefreisetzung in anschließenden Räumen ist zur Zeit nicht vorgesehen. Dieser Fall tritt auf, wenn die Abbrandrate sehr viel größer ist, als die mit dem vorhandenen Sauerstoff verbrennbare Menge. Dann werden unverbrannte Rückstände den Abgasen beigemischt, die unter Umständen in einem entfernteren Raum verbrennen können. Diese Tatsache befindet sich zur Zeit in der Diskussion und ist noch nicht abschließend geklärt. Vor allem sind die Bedingungen zu untersuchen, bei denen eine solche Verbrennung stattfindet. Im Programm wird zur Zeit die Verbrennung zu ausschließlich  $\text{CO}$  und  $\text{CH}_4$  zugelassen, wobei  $\text{CH}_4$  als Gas betrachtet wird, das nicht weiter verbrennt. Bei einem weiteren Fehlen von Sauerstoff wird die Berechnung abgebrochen.

#### - Konvektions- und Strahlungsenergien

Die Terme  $\dot{h}_s$ ,  $\dot{h}_a$ ,  $\dot{h}_0$ ,  $\dot{h}_r$  und  $\dot{h}_w$  sind in den Gleichungen (3.9), bis (3.14) beschrieben, wobei beachtet werden muß, daß die angegebenen Flächen von der Gasschichthöhe  $z$  und vom augenblicklichen Modell nach Bild 1.1, also auch von der Zeit abhängig sind. In den Bauteiloberflächen  $A_{wn}$  geht in Gleichung 3.12 der von der Heißgasschicht bzw. der unteren Schicht augenblicklich bedeckte Anteil ein. Dabei wird der Energieanteil der Wand verschmiert, der theoretisch benötigt wird, um den bei Erhöhung der Heißgasschicht als kalt unterstellten Wandteil im Bereich der heißen Zone zu erwärmen. Diese Tatsache kann aber im Rahmen der Modellierung ohne nennenswerte Fehler hingenommen werden.

Die Konvektionsenergie der Gase ist durch die Beziehung für Gase gegeben, die im Raum  $j$  in die Heißgasschicht aus dem Raum  $i$  einströmen. Somit wird diese ermittelt nach der Beziehung:

$$\dot{h}_{s, ij} = \dot{m}_{s, ij} \cdot c_{pn, i} (T_{gn, i}) \cdot (T_{gn, i} - T_0) \quad \text{Gl. ( 3.9 )}$$

Für nach unten einströmende Gase ist diese Beziehung zu modifizieren. Die Konvektionsenergie lautet dann

$$\dot{h}_{a, ij} = \dot{m}_{a, ij} \cdot c_{pn, i} (T_{gn, i}) \cdot (T_{gn, i} - T_0) \quad \text{Gl. ( 3.10 )}$$

Dabei bedeuten:

$\dot{m}_{s, ij}$  = nach einem oben beschriebenen Strömungsmodell ermittelter Massenstrom in die obere Schicht des Raumes j aus dem Raum i einströmender Massenstrom

$\dot{m}_{a, ij}$  = nach einem oben beschriebenen Strömungsmodell ermittelter Massenstrom in die untere Schicht des Raumes j aus dem Raum i einströmender Massenstrom

$c_{pn, i}$  = spezifische Wärmekapazität der Gase in der n-ten Schicht des Raumes i. n berücksichtigt dabei, ob die Gase aus der oberen oder der unteren Schicht ausströmen

$T_{gn, i}$  = Raumtemperatur der n-ten Schicht im Raum i

$T_0$  = Außentemperatur ( Referenztemperatur ) .

Die Strahlungsenergie durch Öffnungen vom Raum j in den Raum i geht über die Gleichung

$$\dot{h}_{0, ij} = A_{0n, ij} \cdot \sigma \cdot ( T_{gn, i}^4 - T_{gn, j}^4 ) \quad \text{Gl. ( 3.11 )}$$

in die Bilanz ein, bei der unterstellt wird, daß die Brandgase als schwarzer Strahler aufgefaßt werden, wobei  $\sigma$  der Stefan- Boltzmann- Konstanten entspricht und  $A_{0n, ij}$  die Fläche der Öffnung zwischen den Räumen i und j darstellt, die zur Zeit zwischen den betrachteten Schichten liegt. Die Strahlung ist dabei so gerichtet, daß immer die entsprechende Temperatur des Raumes i größer sein muß als im Raum j. Das bedeutet faktisch, daß die Strahlung immer vom heißeren Gaskörper zum kälteren beziehungsweise zu dessen Umfassungsbauteilen gerichtet ist.

Für die Strahlungsverluste der Heißgasschicht ( $\dot{h}_{r, i}$ ) an die untere Schicht des Raumes i muß von einer niedrigeren Strahlungszahl ( $\epsilon_{r, i}$ ) ausgegangen werden als bei Öffnungen. Mit diesem Anteil werden der Strahlungsaustausch zwischen oberer Schicht und im wesentlichen unteren Umfassungsbauteilen näherungsweise erfaßt. Dieser Term ist in der vorliegenden Form des Programms durch einen linearen Ansatz beschrieben.

Dieser Anteil berechnet sich zu

$$\dot{h}_{r,i} = \epsilon_{r,i} \cdot \sigma \cdot A_{w2,i} \cdot (T_{g1,i}^4 - T_{w2,i}^4) \quad \text{Gl. (3.12)}$$

Dabei sind :

$A_{w2,i}$  = Oberfläche des Fußbodens im Raum i

$T_{w2,i}$  = Oberflächentemperatur des Fußbodens

$T_{g1,i}$  = Heißgastemperatur des Raumes i .

Dieser Term verschwindet natürlich dann, wenn im Raum nur eine homogene Schicht vorliegt. Mit dieser Ausnahme und der beschriebenen modifizierten Energiefreisetzung sind alle Energieströme für eine Schicht formuliert und daher auch auf Räume anzuwenden, die nur aus einer Schicht bestehen.

In Gleichung (3.13) sind unter der Bezeichnung  $\dot{h}_{wn,i}$  die Energieverluste an die Umfassungsbauteile im Raum i oben und unten zusammengefaßt, die sich aus einem Konvektions- und einem Strahlungsanteil zusammensetzen, so daß gilt:

$$\dot{h}_{wn,i} = A_{wn,i} \cdot (\alpha_{n,i} \cdot (T_{gn,i} - T_{wn,i}) + \epsilon_{res n,i} \cdot \sigma \cdot (T_{gn,i}^4 - T_{wn,i}^4)) \quad \text{Gl. (3.13)}$$

mit:  $A_{wn,i}$  = Oberfläche der n-ten Umfassungsbauteile im Raum i

$\alpha_{n,i}$  = temperaturabhängige Wärmeübergangszahl für das n-te Bauteil im Raum i

$T_{gn,i}$  = Gastemperatur am n-ten Bauteil im Raum i

$T_{wn,i}$  = Oberflächentemperatur des n-ten Umfassungsbauteils im Raum i

$\epsilon_{res n,i}$  = konstante mittlere Strahlungszahl für das n-te Bauteil im Raum i .

Die Strahlung wird dabei für einen grauen Strahler berechnet, wobei lokale Energiekonzentrationen nicht berücksichtigt werden. Diese einfache Annahme erlaubt aber trotzdem gerade im Brandraum den Strahlungsanteil relativ gut abzuschätzen. Der gesamte Wärmeübergang setzt sich aus den Einzelanteilen der betrachteten Energieanteile zusammen, wobei die Oberflächentemperatur der Bauteile aus der Fourierrechnung

$$c_{wn, i} \cdot \rho_{wn, i} \cdot \partial T / \partial t = \partial / \partial x \cdot ( \lambda_{wn, i} ( T, x ) \cdot \partial T / \partial x ) \quad \text{Gl. ( 3.14 )}$$

bestimmt wird. In der bedeuten

$c_{wn, i}$  = Wärmekapazität des n-ten Umfassungsbauteils  
im Raum i

$\rho_{wn, i}$  = Rohdichte dieses Umfassungsbauteils

$\lambda_{wn, i}$  = Wärmeleitfähigkeit des Materials für behandeltes  
Bauteil.

Dieses relativ einfache Wärmeübergangsmodell ist besonders für Vollbrandmodelle entwickelt worden. Dafür liegen sehr große Erfahrungen vor über die beim natürlichen Brand im Brandraum auftretenden Strahlungszahlen. Für den Bereich der Räume mit niedrigeren Temperaturen kann daher die Wärmeabgabe an die Umfassungsbauteile zu hoch angenommen werden.

#### - in Gasen gespeicherte Energie und sonstige Verlustterme

Die in der n-ten Schicht des Raumes i gespeicherte Energie  $dh_{n, i}/dt$  stellt den Energieanteil dar, der zur Erhöhung der Raumtemperatur um  $dT_g$  erforderlich ist. Somit ist

$$dh_{n, i}/dt = d ( V_{n, i} \cdot \rho_{n, i} \cdot c_{pn, i} \cdot ( T_{gn, i} - T_0 ) ) / dt , \quad \text{Gl. ( 3.15 )}$$

wobei berücksichtigt werden muß, daß sich mit der Zeit sowohl das Volumen  $V_{n, i}$  der n-ten Schicht des Raumes i als auch deren Rohdichte  $\rho_{n, i}$  ändern. Für eine geschlossene Geometrie ist zusätzlich bei der Bestimmung der Rohdichte der Gase aller Schichten zu beachten, daß sich der Druck im Gesamtsystem ändert und somit nach dem allgemeinen Gasgesetz die Rohdichte unter der Annahme, daß die Druckerhöhung im gesamten System gleich ist, bestimmt werden kann aus

$$\rho_{n, i} = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot p_{n, i}}{T_{gn, i} \cdot p_0} \quad \text{Gl. ( 3.16 )}$$

Darin bedeuten

$\rho_0$  = Rohdichte der Umgebungsluft

$T_0$  = Temperatur der Umgebungsluft

$p_0$  = absoluter Ausgangsdruck der Umgebungsluft

$p_{n,i}$  = absoluter Druck des Gesamtsystems zum betrachteten Zeitpunkt

$T_{gn,i}$  = Temperatur der n-ten Schicht in Raum i

$c_{pn,i}$  = von der Temperatur  $T_{gn,i}$  abhängige spezifische Wärmekapazität der Gase der n-ten Schicht im Raum i.

Im Energieanteil  $\dot{h}_{svn,i}$  sind alle durch die erwähnten Beziehungen noch nicht erfaßten weiteren Verluste der n-ten Schicht im Raum i zusammengefaßt. Zur Zeit können mit dem Rechenprogramm die Energieabgaben an Stahlflächen, Ölbehälter sowie Sprinkler simuliert werden. Dieser Anteil kann leicht erweitert werden, um spezielle Anforderungen oder Einbauten zu erfassen. Für Einbauten wie zum Beispiel Ölbehälter und Maschinen aus Stahl wird dabei der Teil berücksichtigt, der sich in der betreffenden Schicht befindet. Dies ist entweder die Heißgas- oder die Kaltgasschicht. Die Energieaufnahme  $\dot{h}_{en,i}$  dieser Teile wird bestimmt aus:

$$\dot{h}_{en,i} = A_{en,i} \cdot (\alpha_{n,i} \cdot (T_{gn,i} - T_{en,i}) + \epsilon_{res n,i} \cdot \sigma \cdot (T_{gn,i}^4 - T_{en,i}^4)) \quad \text{Gl. ( 3.17 )}$$

mit:  $A_{en,i}$  = Oberfläche des Einbaus in der n-ten Schicht im Raum i

$\alpha_{n,i}$  = temperaturabhängige Wärmeübergangszahl für den Einbau in der n-ten Schicht im Raum i

$T_{gn,i}$  = Gastemperatur der n-ten Schicht im Raum i

$T_{en,i}$  = Oberflächentemperatur des Einbaus in der n-ten Schicht im Raum i

$\epsilon_{res n,i}$  = konstante mittlere Strahlungszahl für den Einbau in der n-ten Schicht im Raum i .

Die daraus ermittelte Energieänderung des Einbaus führt zu einer Temperaturänderung, wobei eine reine Wärmespeicherung unterstellt wird. Die mittlere Temperaturänderung in der n-ten Schicht ergibt sich dann zu:

$$\frac{d T_{en,i}}{dt} = \frac{\dot{h}_{en,i}}{M_{en,i} \cdot c_{pen,i}} \quad \text{Gl. ( 3.18 )}$$

mit:

$T_{en,i}$  = Temperatur des Einbaus in der n-ten Schicht des Raumes i

$\dot{h}_{en,i}$  = Energiezufuhr/-abfluß aus dem Einbau in der n-ten Schicht des Raumes i

$M_{en,i}$  = Masse des Einbaus in der n-ten Schicht des Raumes i

$c_{pen,i}$  = spezifische Wärmekapazität des Einbaus in der n-ten Schicht des Raumes i

#### 4 Beurteilung der Rauchausbreitung in Flucht- und Rettungswegen

In den deutschen Sicherheitsvorschriften kommen außer dem Baurecht noch zusätzliche Vorschriften und Verordnungen zur Anwendung. So sind beispielsweise die Arbeitsstätten-Verordnung und -Richtlinien sowie die Gewerbeordnung und Unfallverhütungsvorschriften bei der Genehmigung und dem Betrieb einer Anlage zu beachten. Entscheidend ist dabei, daß von jeder Stelle der Anlage aus auf den Fluchtwegen ein sicheres Verlassen des Gefahrenbereiches möglich ist. Dabei wird als Fluchtweg die Strecke verstanden, die von Personen zurückgelegt werden muß, um den gefährdeten Abschnitt zu verlassen. Der Rettungsweg dagegen gibt die Strecke an, die erforderlich ist, um gefährdete Personen aus dem Abschnitt zu bringen. Dabei ist nicht unbedingt der Brandfall von besonderem Interesse, denn auch z.B. nach einem Unfall muß eine Rettung bei laufendem Betrieb der Anlage möglich sein.

In jedem Fall muß der Weg sicher begehbar sein. Das setzt auch voraus, daß eine Orientierung innerhalb des Gebäudes möglich ist. So müssen beispielsweise angebrachte Hinweisschilder ausreichend früh und gut sichtbar sein. Dies erfordert für das Modell, daß neben der Gaszusammensetzung hinsichtlich toxischer Stoffe auch die Sichtweite bestimmt werden muß. Als Maß für die Sichtweite kann die optische Rauchdichte verwendet werden, die ebenfalls sehr stark vom Abbrandgeschehen abhängig ist.

Ein weiteres Kriterium kann die Gastemperatur sowie die Strahlungsdichte auf dem Rettungsweg sein. Die Temperatur ergibt sich dabei neben der Dicke der betrachteten Schicht als natürliches Ergebnis der Wärmebilanzrechnung. Die Strahlungsdichte kann im derzeitigen Stand der Modellentwicklung wegen der groben Vereinfachungen nur ungenau abgeschätzt werden. Eine detaillierte Strahlungsbetrachtung mit einer Berücksichtigung des Plume ist aber im Rahmen des Modells in Zukunft möglich. Voruntersuchungen dazu wurden bereits durchgeführt.

Für die Beurteilung von Flucht- und Rettungswegen sind also aufgrund der geschilderten Anforderungen im Modell für jeden Raum Aussagen erforderlich hinsichtlich

- Gasschichthöhen
- Gastemperaturen
- Gaszusammensetzung
  - hinsichtlich toxischer Stoffe
  - hinsichtlich der Sichtweite

Für die Bestimmung der Gaszusammensetzung ist die Kenntnis der Ausgangszustände der Umgebungsluft sowie der Luft innerhalb der Anlage von entscheidender Bedeutung. Dabei spielen die zeitliche Entwicklung des Abbrandes für die Massenfreisetzung in der Abbrandrate sowie die ablaufenden chemischen Umwandlungsprozesse eine entscheidende Bedeutung.

Unter der gemachten Voraussetzung, daß in jeder Schicht zu jedem Zeitpunkt homogene Bedingungen vorliegen, ist auch die Zusammensetzung homogen. Das bedeutet, daß sich die zugeströmten Gase und Feststoffpartikel gleichmäßig mit den vorhandenen vermischen. Somit lautet die Differentialgleichung für jede Komponente  $k$  in der Schicht  $i$  für den Raum  $j$ , wenn das Gebäude aus  $n$  Räumen besteht:

$$\frac{d}{dt} ( V_{i,j} \cdot \rho_{i,j} \cdot Y_{i,j,k} ) + \sum_{l=1}^n \sum_{i=1}^2 ( \dot{m}_{i,jl} \cdot Y_{i,j,k} - \dot{m}_{i,lj} \cdot Y_{i,l,k} ) - \dot{\omega}_{i,j,k} = 0 .$$

Gl. ( 4.1 )

Dabei sind:

$V_{i,j}$  = Volumen der Schicht  $i$  im Raum  $j$

$\rho_{i,j}$  = Dichte der Schicht  $i$  im Raum  $j$

$Y_{i,j,k}$  = Massenkonzentration der Komponente  $k$  in der Schicht  $i$  des Raumes  $j$

$Y_{i,l,k}$  = Massenkonzentration der Komponente  $k$  in der Schicht  $i$  des Raumes  $l$

$\dot{m}_{i,jl}$  = Massenstrom aus der Schicht  $i$  des Raumes  $j$  in Raum  $l$

$\dot{m}_{i,lj}$  = Massenstrom aus der Schicht  $i$  des Raumes  $l$  in Raum  $j$

$\dot{\omega}_{i,j,k}$  = Produktionsrate für die Komponente  $k$  in der Schicht  $i$  des Raumes  $j$ .

Die Produktionsrate  $\dot{\omega}_{i,j,k}$  entspricht dabei den durch die Verbrennung oder durch andere Maßnahmen in die Schicht eingebrachten Anteilen der Bestandteile  $k$ . Sie wird durch den Abbrand bestimmt oder repräsentiert einen anderen Quellterm,

der z.B. eine Löscheinrichtung mit Wasser oder CO<sub>2</sub> berücksichtigt. Verbrauchte Komponenten wie z.B. O<sub>2</sub> und Rußablagerungen an Wänden, Einbauten und Filtern gehen dabei als negative Werte ein. Die einzelnen Größen der Gleichung 4.1 sind bis auf die Konzentrationen Y<sub>i,j,k</sub> im bisher vorgestellten Modell enthalten. Das bedeutet, daß die Konzentration der einzelnen Komponenten außerhalb der Lösungsprozedur für das Wärmebilanzproblem explizit gelöst werden kann, wenn alle thermodynamischen Kenngrößen ermittelt sind.

#### 4.1 Bestimmung der Gaszusammensetzung

Im Rechenprogramm MRFC werden zur Zeit sechs Gaskomponenten berücksichtigt. Diese sind:

- Stickstoff	N <sub>2</sub>
- Sauerstoff	O <sub>2</sub>
- Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>
- Kohlenmonoxid	CO
- Wasser	H <sub>2</sub> O
- unverbrannte Kohlenwasserstoffe	CH <sub>4</sub>

Die Beschränkung auf diese sechs Komponenten ist lediglich eine Frage der Dimensionierung sowie der Formulierung des Produktionsterms  $\dot{\omega}$ , der für jeden Gasanteil in Abhängigkeit von der aktuellen Brandsituation nach Tabelle 2.4.3 bestimmt wird. Daher stellt diese Beschränkung keine Grenze für die Anwendung des Verfahrens dar.

Die Unabhängigkeit der Wärmebilanzrechnung von der Gaszusammensetzung ( mit Ausnahme der Energiefreisetzung ) führt dazu, daß Gl. 4.1 explizit für jede Gaskomponente gelöst werden kann. Bei einer zeitlichen Diskretisierung mit dem Zeitschritt von  $\Delta t$  ergibt sich daher aus den Gegebenheiten zur Zeit t:

$$Y_{i,j,k}^{t+\Delta t} = \frac{1}{V_{i,j}^{t+\Delta t} \cdot \rho_{i,j}^{t+\Delta t}} \left\{ ( V_{i,j}^t \cdot \rho_{i,j}^t \cdot Y_{i,j,k}^t + \Delta t \cdot [ \sum_{l=1}^n \sum_{i=1}^2 (-\dot{m}_{i,jl} \cdot Y_{i,j,k} + \dot{m}_{i,lj} \cdot Y_{i,l,k} ) + \dot{\omega}_{i,j,k} ] \right\} \quad \text{Gl. ( 4.2 )}$$

Zur Angabe des Volumenanteils  $X_{i,j,k}$  ist der Massenanteil über die Molekulargewichte  $M_k$  der n Einzelkomponenten umzurechnen. Dabei gilt:

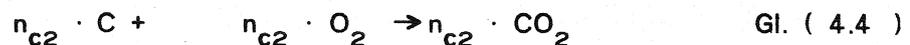
$$X_{i,j,k} = \frac{Y_{i,j,k}}{M_k \cdot \sum_{k=1}^n ( Y_{i,j,k} / M_k )} \quad \text{Gl. ( 4.3 )}$$

## 4.2 Verbrennungsvorgänge

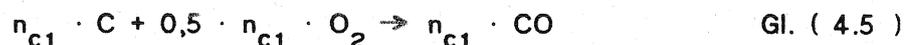
Die bei der Verbrennung ablaufenden Phänomene sind in der Regel sehr komplex. Bei Brennstoffen, die fast ausschließlich Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, kann die Verbrennung zumindest für die Reaktionsprodukte ziemlich genau beschrieben werden. Dabei ist gegebenenfalls vorhandene Feuchtigkeit zu berücksichtigen. Solche Stoffe sind z.B. Cellulose wie Holz und Mineralölprodukte. In der Praxis tritt kaum der Fall einer idealen Verbrennung auf, der für diese Stoffe durch zwei grundlegende Beziehungen für eine Kohlenstoff- und eine Wasserstoffverbrennung dargestellt werden kann. Es entstehen vielmehr auch Zwischenprodukte, die z.B. durch lokal fehlenden Sauerstoff nicht weiter zu den natürlichen Reaktionsprodukten verbrennen können.

Ganz schwierig wird eine zuverlässige Abschätzung der Reaktionsprodukte, wenn weitere brennbare Grundstoffe vorhanden sind, und wenn andere Reaktionsprodukte als die natürlichen Stoffe Wasser und Kohlendioxid entstehen. So sind beispielsweise alle Produkte der organischen Chemie, die in zunehmendem Maße im Bauwesen Anwendung finden, in der Regel sehr schwer zu behandeln. Von besonderem Interesse sind dabei alle Stoffe, die auch bei genügendem Sauerstoffangebot toxische Reaktionsprodukte erzeugen. Bei der Beurteilung von Bauwerken hinsichtlich einer Gefährdung von Menschen ist diese Frage von sehr großer Bedeutung.

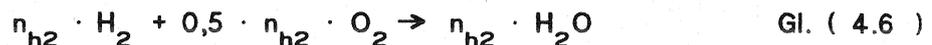
Die bekannten Rechenprogramme behandeln die Frage der chemischen Verbrennungsvorgänge alle auf der Grundlage einer sehr vereinfachten Anschauung. Die beiden grundlegenden Beziehungen lauten für die Kohlenstoffverbrennung:



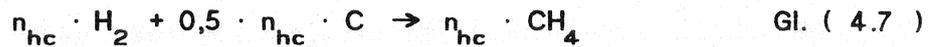
bei vollständiger Verbrennung und



bei unvollständiger Verbrennung. Für die Wasserstoffverbrennung gilt entsprechend



Bei einer Verbrennung unter extremem Sauerstoffmangel treten größere Mengen von unverbrannten Resten auf. Diese können in fester Form als Ruß oder aber als gasförmige Verbindungen entstehen. Für eine Bilanz sind diese Stoffe daher zu berücksichtigen, wenn der weite Bereich vom brandlastgesteuerten bis zum ventilationsgesteuerten Brand in der Simulation abgedeckt sein soll. Die Bestimmung der gasförmigen Stoffe erfolgt so, daß die einfachste Form eines Kohlenwasserstoffs in Form von Methangas  $CH_4$  angenommen wird, in der das Gasgemisch auftritt. Die so ermittelte Masse an unverbrannten Kohlenstoffen repräsentiert daher aus Gründen der Vereinfachung das gesamte Gemisch. Die Reaktionsgleichung für diese Stoffe wird daher in folgender Form beschrieben:



Dabei gibt  $n$  jeweils die Anzahl der an der Reaktion beteiligten Mole der betrachteten Stoffe wieder. Besteht der Brennstoff nur aus den hier berücksichtigten Teilen, bzw. bei Vernachlässigung von anderen Stoffen, ist das Verbrennungsgeschehen damit in der Regel zu beschreiben. Es ist lediglich die Bilanz der Mole durchzuführen. Daraus können die Anteile aller Reaktionsprodukte ermittelt werden, wenn die Zusammensetzung des Brennstoffs und der an der Verbrennung beteiligten Gase bekannt ist. Es ist daher die Anzahl der bei der Verbrennung pro Zeiteinheit freigesetzten Mole an Kohlenstoff (  $C$ ,  $n_c$  ), Wasserstoff (  $H_2$ ,  $n_h$  ), Sauerstoff (  $O_2$ ,  $n_{of}$  ) und Wasser (  $H_2O$ ,  $n_{h_2o}$  ) sowie des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs (  $n_{og}$  ) zu bestimmen, damit alle erforderlichen Größen für die Bilanz bekannt sind. Alle anderen Stoffe werden dabei nicht berücksichtigt.

In Abhängigkeit vom zur Verfügung stehenden Sauerstoff sind für die Verbrennung im Modell 4 Bereiche berücksichtigt. Diese sind durch bei idealer Verbrennung vorgegebene Grenzbedingungen bestimmt. So lautet die Bedingung für eine vollständige Verbrennung zu  $H_2O$  und  $CO_2$  der freigesetzten Abbrandrate bei vollständigem Verbrauch des  $O_2$ :

$$n_o = 0,5 \cdot n_h + n_c \quad \text{Gl. ( 4.8 )}$$

mit:

$$n_o = n_{og} + n_{of}$$

Ist nicht genügend  $O_2$  vorhanden, dann verbrennt zuerst der gesamte Wasserstoff und der Restgehalt an  $O_2$  wird vollständig verbraucht zu  $CO_2$  und  $CO$ . Die Grenzbedingung ist dabei erreicht, wenn nur noch  $CO$  und  $H_2O$  produziert werden. Diese Bedingung lautet:

$$n_o = 0,5 \cdot ( n_h + n_c ) \quad \text{Gl. ( 4.9 )}$$

In der nächsten Phase werden die Kohlenstoffverbindungen nur noch vollkommen unvollständig zu  $CH_4$  und  $CO$  reduziert. Als letzte Grenzbedingung gilt daher bei einer vollständigen Umwandlung:

$$2 \cdot n_o + 0,5 \cdot n_h = n_c \quad \text{Gl. ( 4.10 )}$$

Bei einem noch größeren Kohlenstoffangebot kann dieser nicht mehr verbrannt werden. Er bleibt in Form von Kohle und Ruß zurück. Dabei kann dann natürlich aus diesem Anteil keine Energie freigesetzt werden.

Unter Verwendung der 3 in Gl. 4.8 bis 4.10 definierten Grenzbedingungen werden pro Zeiteinheit in der Verbrennungszone in Abhängigkeit von den vorhandenen Ausgangsprodukten die in Tabelle 4. dargestellten Reaktionsprodukte erzeugt.

Es wird immer unterstellt, daß die theoretisch maximal mögliche Menge an gasförmigen Reaktionsprodukten entsteht. Die Bedingungen, aus denen die Beziehungen für die 4 Bereiche abgeleitet wurden, sind dabei jeweils eingerahmt.

Zeile	Reaktions- produkte	Bereich 1 vollständig zu CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O und O <sub>2</sub>	Bereich 2 unvollständig zu CO <sub>2</sub> , CO und H <sub>2</sub> O	Bereich 3 Reduktion zu CO, CH <sub>4</sub> und H <sub>2</sub> O	Bereich 4 Reduktion zu CO, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O und C
1		$n_o > 0,5 \cdot n_h + n_c$	$n_o > 0,5 \cdot (n_h + n_c)$	$2 \cdot n_o + 0,5 \cdot n_h \geq n_c$	$2 \cdot n_o + 0,5 \cdot n_h < n_c$ $n_c^* = n_c - n_{cr}$
2	H <sub>2</sub> O: n <sub>h2o</sub>	$n_h + n_{h2o}$	$n_h + n_{h2o}$	$\frac{4}{3}n_o - \frac{2}{3}n_c + \frac{1}{3}n_h + n_{h2o}$	$\frac{4}{3}n_o - \frac{2}{3}n_c^* + \frac{1}{3}n_h + n_{h2o}$
3	CO <sub>2</sub> : n <sub>c2</sub>	$n_c$	$-n_c - n_h + 2 \cdot n_o$	0	0
4	CO: n <sub>c1</sub>	0	$2 \cdot n_c + n_h - 2 \cdot n_o$	$\frac{2}{3}(n_o + n_c) - \frac{1}{3}n_h$	$\frac{2}{3}(n_o + n_c^*) - \frac{1}{3}n_h$
5	CH <sub>4</sub> : n <sub>ch</sub>	0	0	$\frac{1}{3}(n_c + n_h - 2n_o)$	$\frac{1}{3}(n_c^* + n_h - 2n_o)$
6	O <sub>2</sub> : n <sub>op</sub>	$-n_c - 0,5 \cdot n_h$	$-0,5n_h + n_c + n_h - 2 \cdot n_o - n_c - 0,5n_h + n_o$ = -n <sub>o</sub>	$-\frac{1}{3}(n_o + n_c) + \frac{1}{6}n_h - \frac{2}{3}n_o + \frac{1}{3}n_c - \frac{1}{6}n_h$ = -n <sub>o</sub>	$-\frac{1}{3}(n_o + n_c^*) + \frac{1}{6}n_h - \frac{2}{3}n_o + \frac{1}{3}n_c^* - \frac{1}{6}n_h$ = -n <sub>o</sub>
7	C: n <sub>cr</sub>	0	0	0	$n_c - 2n_o - \frac{1}{2}n_h$

Tabelle 4: Anzahl der Mole für Entstehung von Verbrennungsprodukten in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Ausgangsprodukte

In Tabelle 4 ergibt die Berechnung nach Zeile 6 für  $O_2$  immer einen negativen Wert. Das bedeutet, daß eine negative Produktion von Sauerstoff, also ein Sauerstoffverbrauch, vorliegt. Für die Gesamtproduktion im Bezug zur betrachteten Gas-schicht ist zu berücksichtigen, daß der im Brennstoff enthaltene Sauerstoffanteil ( $n_{of}$ ) zu dieser negativen Produktion addiert werden muß. Der resultierende Wert ist üblicherweise kleiner als Null, denn das Gegenteil würde bedeuten, daß der Brennstoff als reaktionsfähiges Gemisch vorliegt, der Verbrennungsvorgang aber wegen z.B. zu geringer Temperatur nicht eingeleitet werden konnte. Zeile 7 enthält dagegen den Anteil an unverbrannten Kohlenstoffresten. Ihre Bildung setzt im Modell erst ein, wenn der vorhandene Sauerstoff nicht ausreicht, die Kohlenstoff- und Wasserstoffanteile vollständig zu gasförmigen Produkten zu verbrennen.

Das ist z.B. der Fall bei der Berücksichtigung von Nachverbrennungen in anderen Zonen als der Verbrennungszone. In diesem Fall können die einströmenden Gase, die ja durch Einmischung von sauerstoffhaltigen Gasen einen erhöhten  $O_2$ -Gehalt erhalten können, als Brennstoffgemisch aufgefaßt werden, für das dann die hier abgeleiteten Beziehungen gelten. Dieser Fall ist aber wie schon erwähnt in der vorliegenden Fassung des Modells noch nicht enthalten. Auch könnte mit der Verwendung eines Brennstoffs, der mehr  $O_2$  enthält, als für eine vollständige Verbrennung erforderlich ist, der Fall eines Zwangsmassenstroms aus einer Zone mit konstanten Bedingungen simuliert werden.

Die vorgestellte Beschreibung der Verbrennungsvorgänge ist sehr stark vereinfacht und idealisiert. Aus Versuchen ist beispielsweise bekannt, daß wegen der ungenügenden Vermischung der Ausgangsprodukte eine unvollständige Verbrennung schon bei wesentlich geringeren  $O_2$ -Konzentrationen im Gemisch auftritt, als hier unterstellt wird. Dies wäre der nächste Schritt, um das dargestellte Schema zu ergänzen. Das könnte z.B. dadurch geschehen, daß in Abhängigkeit von der vorhandenen  $O_2$ -Konzentration ein funktionaler Verlauf für das Verhältnis von CO zu  $CO_2$  ermittelt wird, aus der dann auf gleiche Weise modifizierte Beziehungen ermittelt werden. Der Vorteil der Methode liegt allerdings darin, daß die Produktion von Brandgasen zu jedem Zeitpunkt der Simulation vom Sauerstoffangebot abhängt.

Für das HAZARD Paket / 2 / werden einige Tips für die Anwendung gegeben, die Vorgabe einer Produktionsrate wird aber dem Anwender überlassen. Aus Gründen der Vereinfachung wird im vorliegenden Modell auf die Behandlung der Rückstände verzichtet. Dabei wird konservativ angenommen, daß das gesamte Brandgut unter maximal möglicher Energieausnutzung verbrennt. Für die Rußbildung wird während des gesamten Brandgeschehens eine konstante Rate für die vom Brand erzeugte Trübung berücksichtigt, die vom Anwender vorgegeben wird. Im Bestreben, das Modell möglichst selbstregulierend zu formulieren, sind daher noch wesentliche Anstrengungen erforderlich, um diese Vorgänge wie erwähnt in Abhängigkeit von den aktuellen Gegebenheiten zu beschreiben. Dabei wird ein konstanter Wert  $D_o$  in  $m^2/kg$  angenommen, der einem spezifischen Rauchpotential entspricht und im weiteren Verlauf für die Bestimmung der optischen Rauchdichte benötigt wird.

### 4.3 Bestimmung der Sichtweite in den einzelnen Gasschichten

Der Anteil der Rauchgase, der die Trübung des Gasgemischs hervorruft, ist sehr schwierig zu bestimmen. Für die Produktion wurde vereinfacht angenommen, daß ein sehr kleiner Teil der Verbrennungsprodukte in feste Partikel umgesetzt wird, der jedoch so klein ist, daß er in den Massenbilanzen nicht gesondert behandelt werden muß. Die mathematische Beschreibung der chemischen Prozesse bis hin zur Bildung von Rauchpartikeln ist bis heute kaum möglich. Durch Messungen kann allerdings die optische Rauchdichte relativ einfach bestimmt werden.

Die optische Rauchdichte ist dabei logarithmisch proportional zur Intensität eines definierten Lichtstrahls, nachdem er eine bestimmte Strecke durch ein Gasgemisch zurückgelegt hat, dessen optische Dichte bestimmt werden soll. Daher wird die optische Rauchdichte häufig auch als Extinktionskoeffizient bezeichnet. Der Vorteil für die Bestimmung der optischen Rauchdichte liegt dabei darin, daß dazu die Sichtweite korreliert ist.

Die grundlegende Arbeit im Bezug zur Sichtweitenkorrelation stammt von Jin. Die Sichtweite für reflektierende Schilder entspricht dem dreifachen Reziprokwert der optischen Rauchdichte aus Messungen von Jin in logarithmischen Größen. Die Beziehung

$$S = 1,9463 \cdot \sigma^{-0,7108} \quad \text{Gl. ( 4.11 )}$$

ergibt sich durch logarithmische Interpolation zwischen den beiden Stützstellen für die optische Rauchdichte von 0,1 und 5 mit den zugehörigen Sichtweiten von 10 bzw. 0,65 m. Das Rauchpotential  $D_o$  ist über einen konstanten Faktor  $\eta$  linear an den spezifischen Extinktionskoeffizienten  $\sigma_o$  des Materials gekoppelt. Dabei entspricht  $\eta$  dem Anteil der Feststoffpartikel  $\dot{m}_s$  an der Abbrandrate  $\dot{R}$ . Es gilt:

$$D_o = \eta \cdot \sigma_o = \dot{m}_s / \dot{R} \cdot \sigma_o \quad \text{Gl. ( 4.12 )}$$

Der spezifische Extinktionskoeffizient  $\sigma_o$  ist für einen weiten Anwendungsbereich konstant für fast alle brennbaren Materialien und hängt im wesentlichen davon ab, ob die Verbrennung in Form einer hell brennenden Flamme abläuft oder nicht. Die optische Rauchdichte  $D_{i,j}$  in der Schicht  $i$  des Raumes  $j$  entspricht letztlich dem Produkt aus Massenkonzentration der Partikel  $C_s$  und dem spezifischen Extinktionskoeffizienten  $\sigma_o$ . Mit den Bezeichnungen für Gl. 4.1 ist also:

$$D_{i,j} = \sigma_o \cdot C_{s,i,j} = \sigma_o \cdot Y_{i,j,k} \cdot \rho_{i,j} \quad \text{Gl. ( 4.13 )}$$

Das bedeutet, daß die optische Rauchdichte ebenfalls aus Gl. 4.2 bestimmt werden kann. Der Quellterm in der Heißgasschicht des Raumes  $j$   $\omega_{1,j,7}$  entspricht dem Produkt aus spezifischem Rauchpotential  $D_o$  des Brandgutes mit der Abbrandrate  $\dot{R}_j$

$$\omega_{1,j,7} = D_o \cdot \dot{R}_j \quad \text{Gl. ( 4.14 )}$$

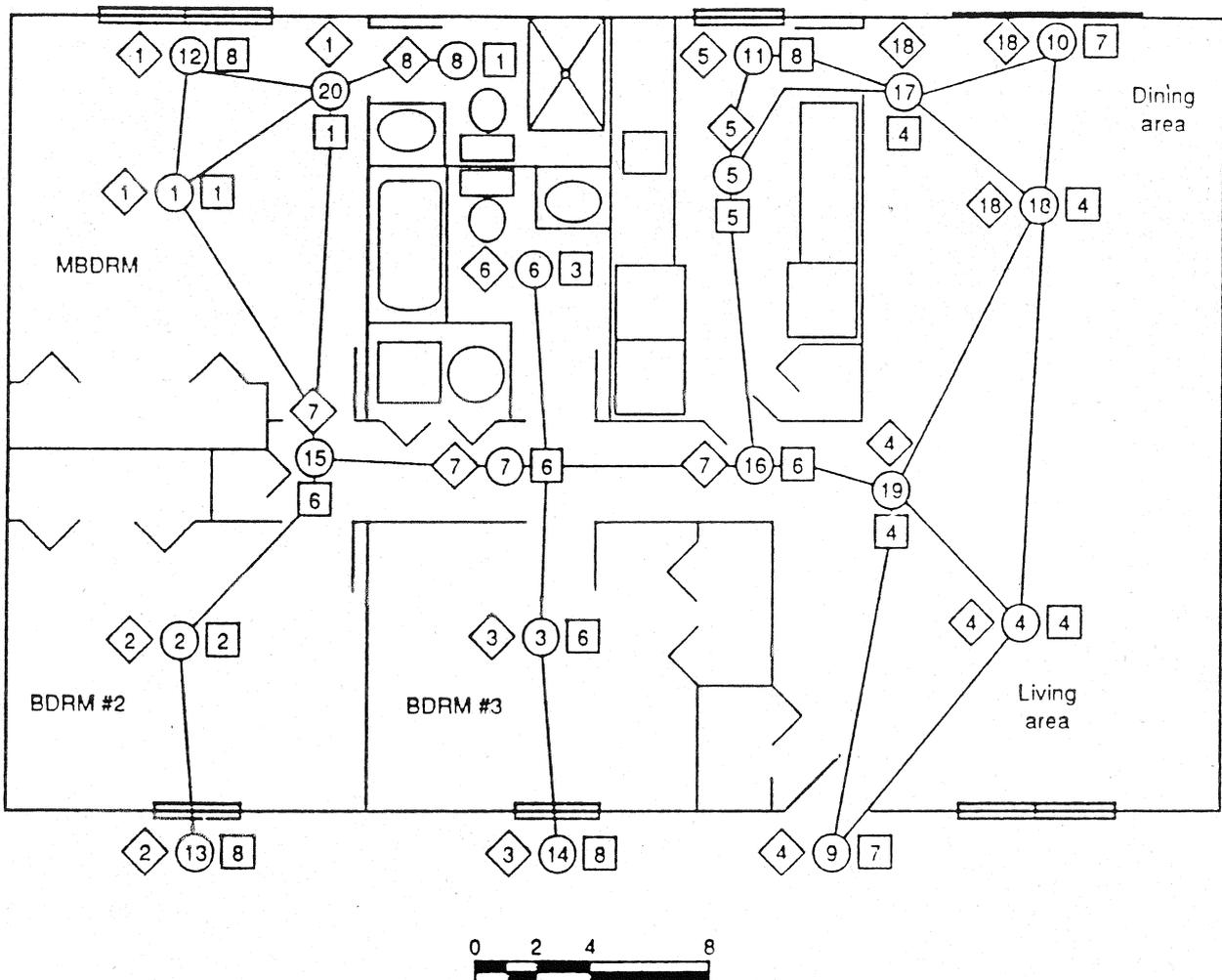
## **Anlagen 1**

**Berechnungen mit F A S T  
für für Variationen zum Scenario 3**

# SCEN - 3

## Floor Plan and EXITT Building Description for Scenario 3

- ◇ EXITT - room number associated with node
- EXITT - node number
- Fast room number associated with node



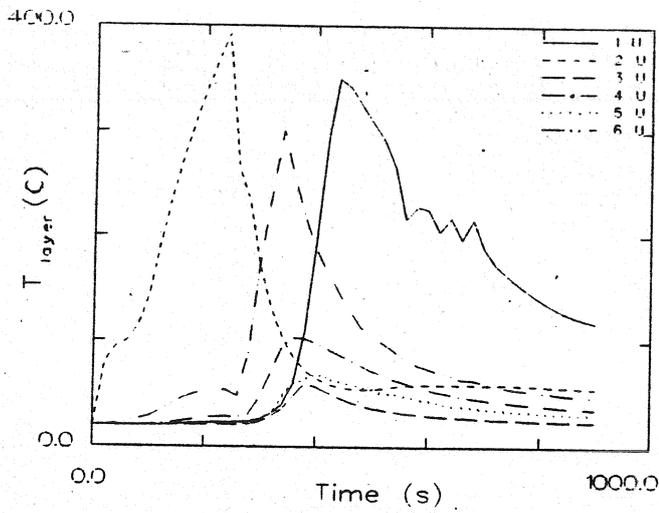
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

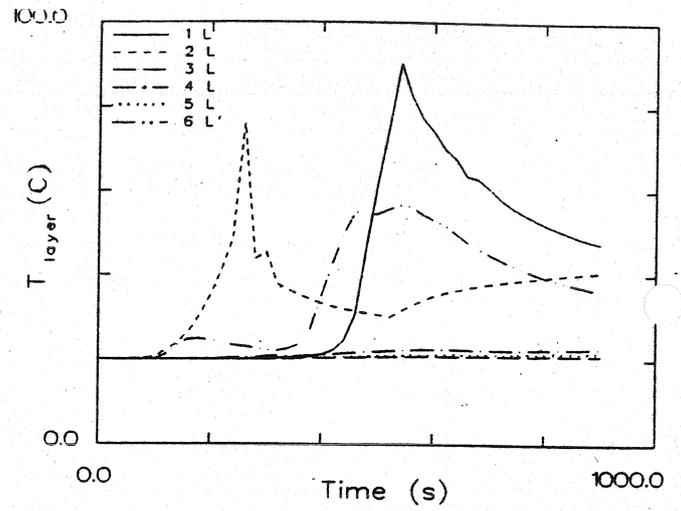
VERS# 18          Scenario 3, Ranch House, Flaming Mattress
TIMES  900  50  20  0  0
TAMB  293.  101300.  0.
EAMB  273.  101300.  0.
HI/F   0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
WIDTH  3.60  3.00  2.70  4.50  2.70  3.05
DEPTH  3.80  3.60  3.80  8.10  3.80  5.50
HEIGH  2.40  2.40  2.40  2.40  2.40  2.40
HVENT  1  6  1  0.01  2.10  0.00
HVENT  1  7  1  0.81  1.22  0.91  0.00
HVENT  2  6  1  0.01  2.10  0.00
HVENT  3  6  1  0.01  2.10  0.00
HVENT  4  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT  4  6  1  1.10  2.10  0.00
CVENT  1  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT  1  7  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT  2  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT  3  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT  4  5  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT  4  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CEILI  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM
WALLS  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM
FLOOR  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
CHEMI  0.  0.  6.0  18100000.  300.
LFRO   2
LFRT   2
LFPOS  1
LFMAX  8
FTIME  260.  20.  20.  60.  70.  120.  180.  770.
FMASS  0.0000  0.0165  0.1930  0.1770  0.3760  0.3760  0.1220  0.0410  0.0165
FHIGH  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
FAREA  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50
EQDOT  0.00  2.99E+05  3.49E+06  3.20E+06  6.81E+06  6.81E+06  2.21E+06  7.42E+05
.99E+05
CT     1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000
HCP    0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080
CO     0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
OD     0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
DUMPR  SCEN-3.DMP

```

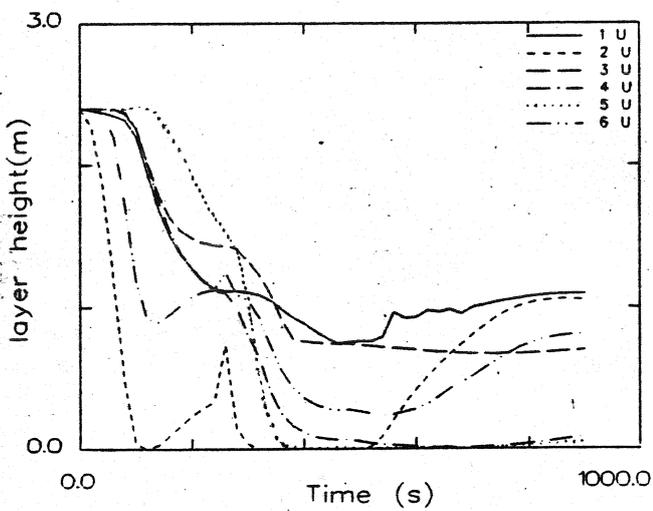
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



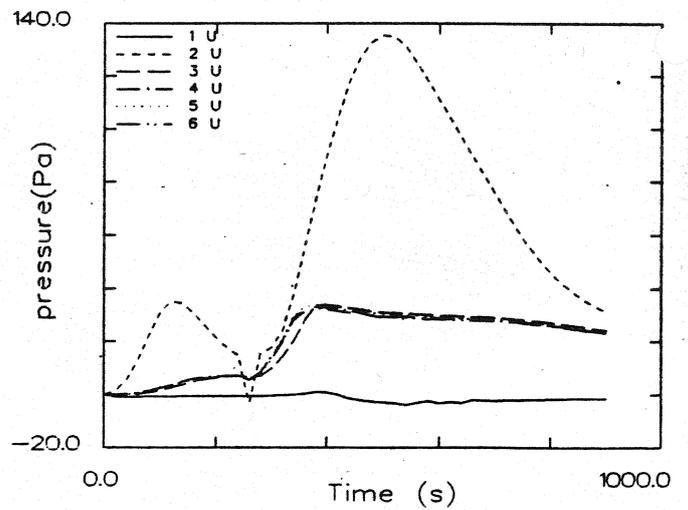
**Temperatur der Heißgasschicht**



**Temperatur der unteren Schicht**

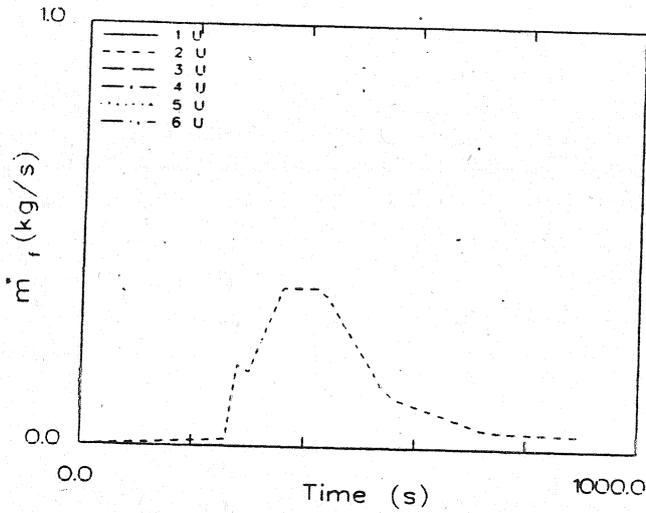


**Dicke der rauchfreien Schicht**

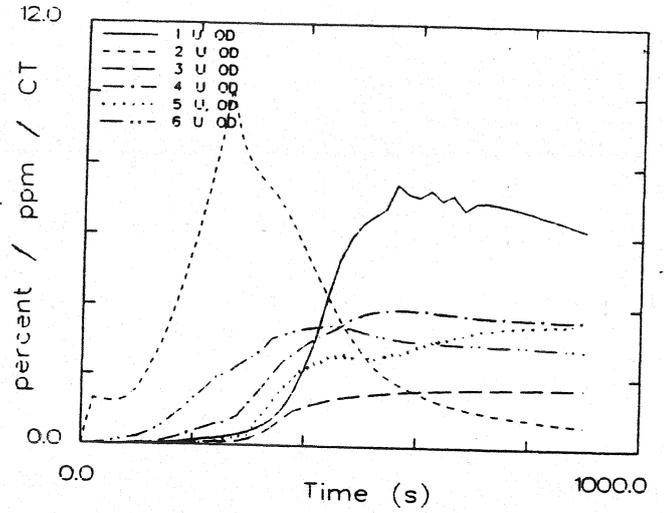


**Druckänderung am Fußboden**

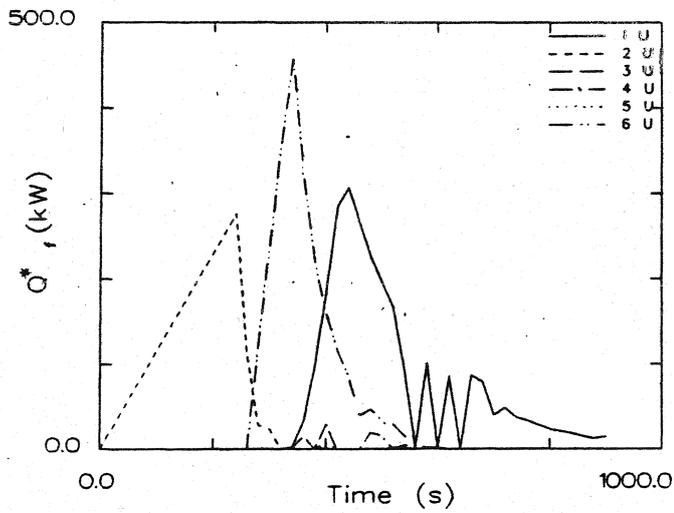
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



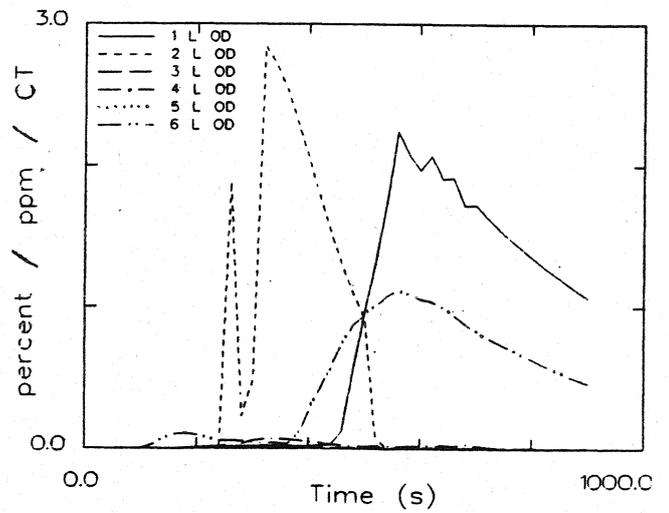
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

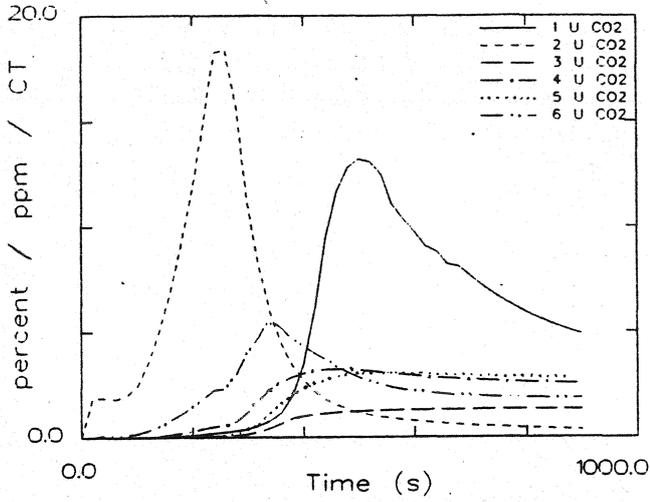


Energiefreisetzung

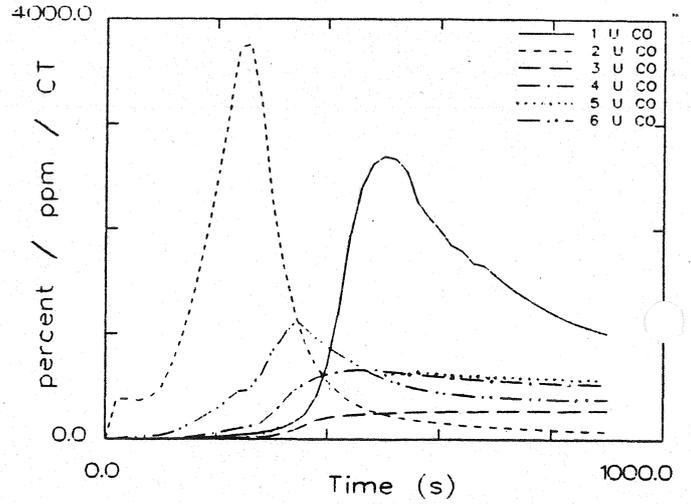


Optische Rauchdichte untere Schicht

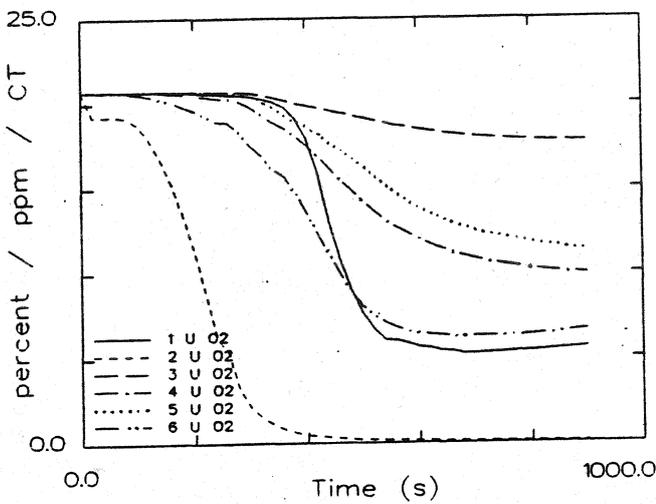
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



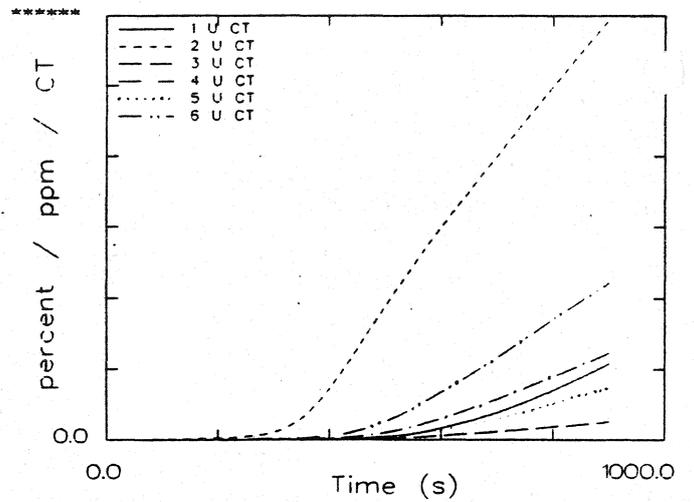
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

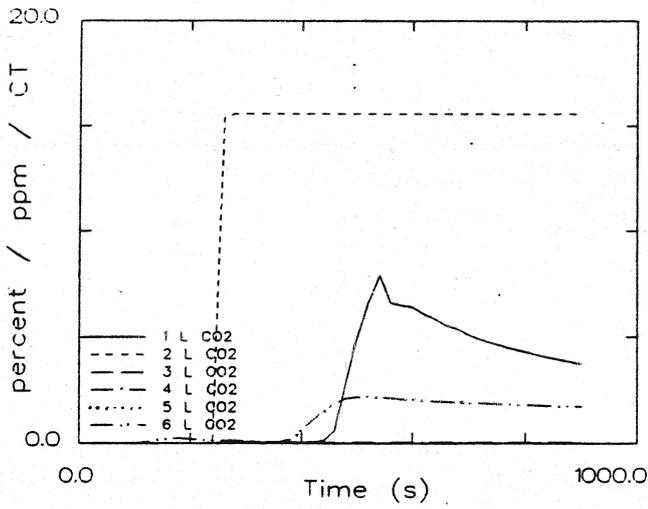


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

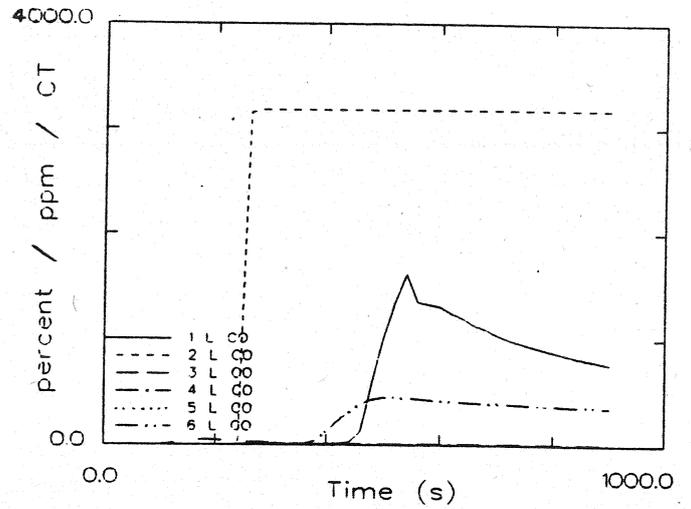


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

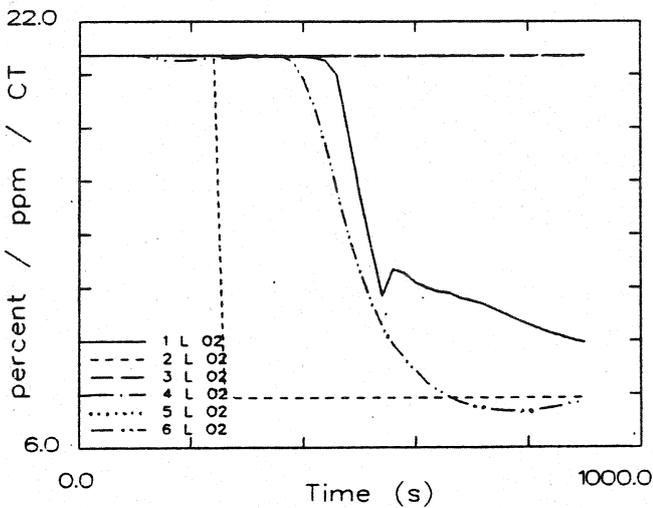
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



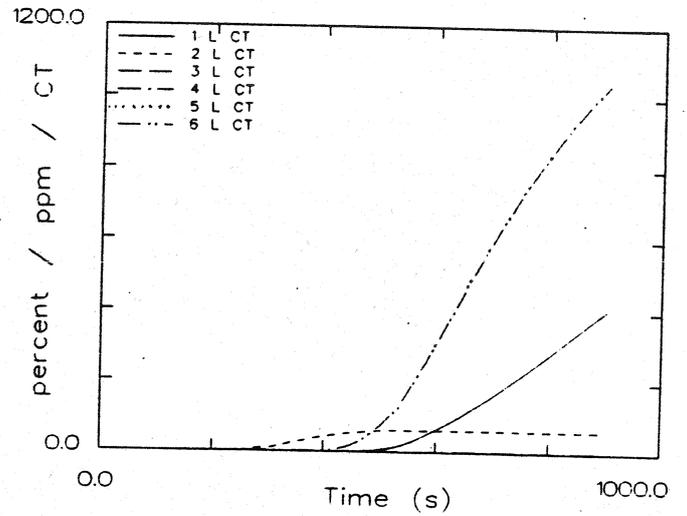
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

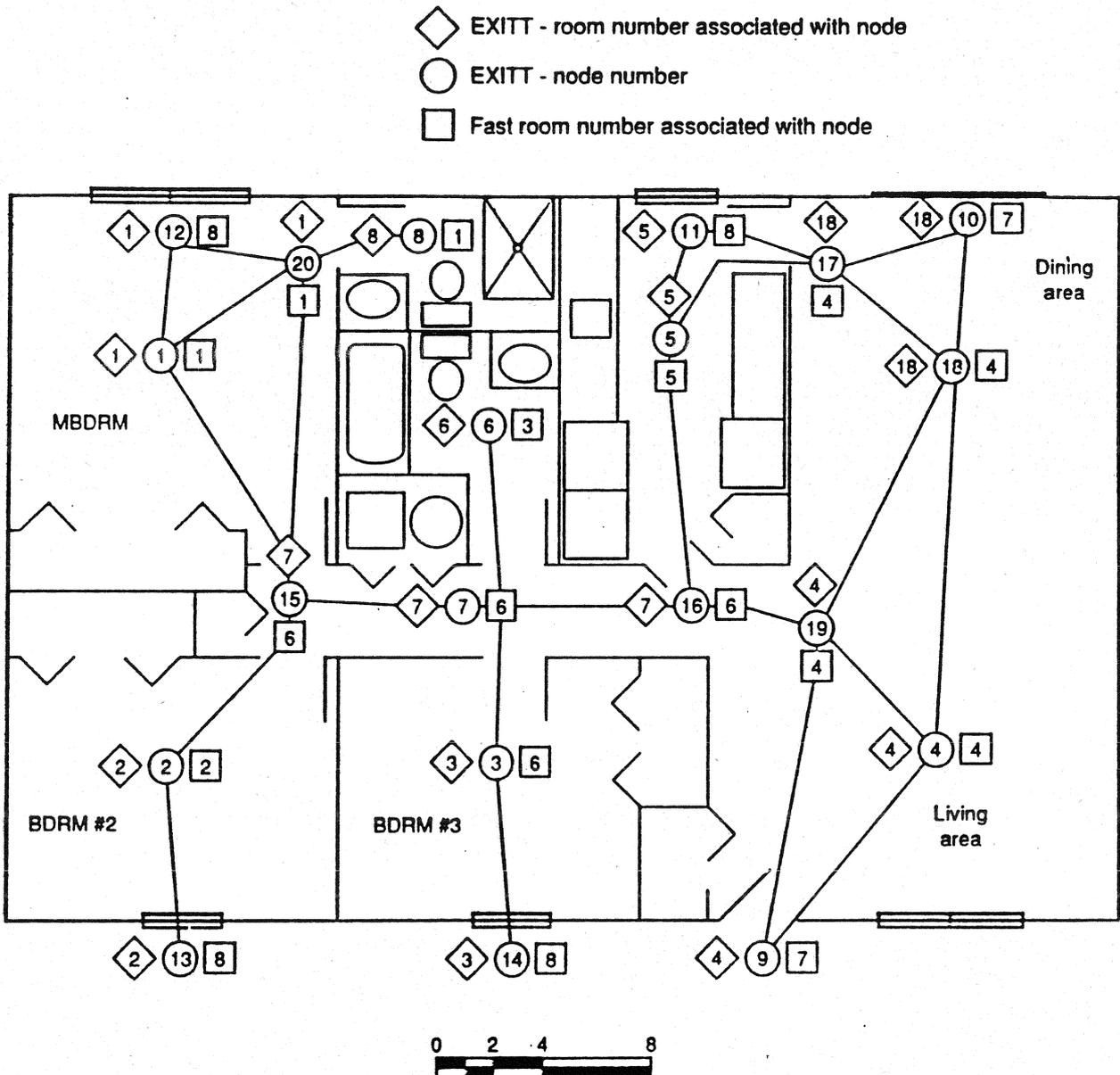


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

Systemübersicht für Berechnungen

# SCEN-3C

## Floor Plan and EXITT Building Description for Scenario 3



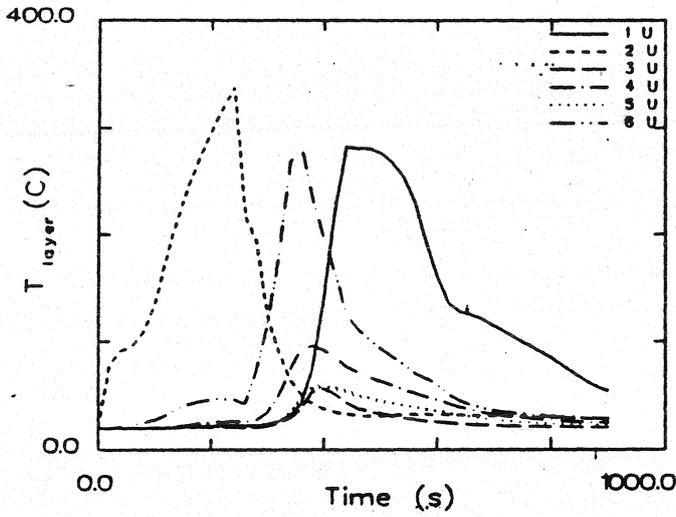
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

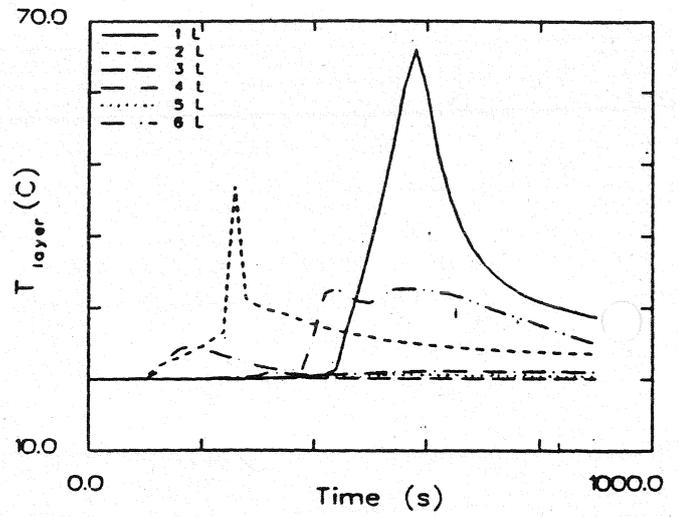
VERSN      13          Scenario 3, Ranch House, Flaming Mattress  SCEN-3C
TIMES      900      50      20      0      0
TAMB      293.      101300.      0.
EAMB      273.      101300.      0.
HI/F      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
WIDTH     2.60      3.00      2.70      4.50      2.70      3.05
DEPTH     3.80      3.60      3.80      3.10      3.80      5.50
HEIGH     2.40      2.40      2.40      2.40      2.40      2.40
HVENT     1  6  1      0.01      2.10      0.00
HVENT     1  7  1      0.81      1.22      0.91      0.00
HVENT     2  6  1      0.01      2.10      0.00
HVENT     3  6  1      0.01      2.10      0.00
HVENT     4  5  1      1.10      2.10      0.00
HVENT     4  6  1      1.10      2.10      0.00
CVENT     1  6  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CVENT     1  7  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CVENT     2  6  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CVENT     3  6  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CVENT     4  5  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CVENT     4  6  1      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00      1.00
CEILI    CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
WALLS    CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
FLOOR    CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
CHEMI    0.      0.      6.0      18100000.  300.
LFBO     2
LFBT     2
LFPOS    1
LFMAX    8
FTIME    260.      20.      20.      60.      70.      120.      180.      770.
FMASS    0.0000  0.0165  0.1930  0.1770  0.3760  0.3760  0.1220  0.0410  0.0165
FHIGH    0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00      0.00
FAREA    0.50      0.50      0.50      0.50      0.50      0.50      0.50      0.50      0.50
FQDOT    0.00      2.99E+05  3.49E+06  3.20E+06  6.81E+06  6.81E+06  2.21E+06  7.42E+05
.99E+05
CT        1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000
HCR       0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080
CO        0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
OD        0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
RESTR    SCEN-3CA.DMP 600
DUMPR    SCEN-3C.DMP

```

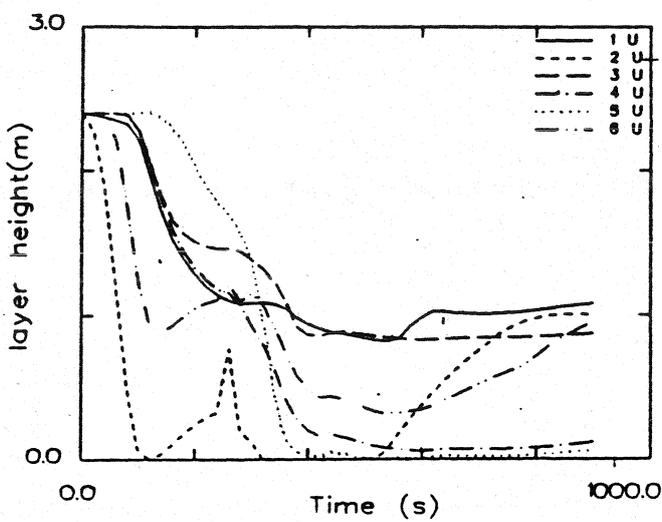
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



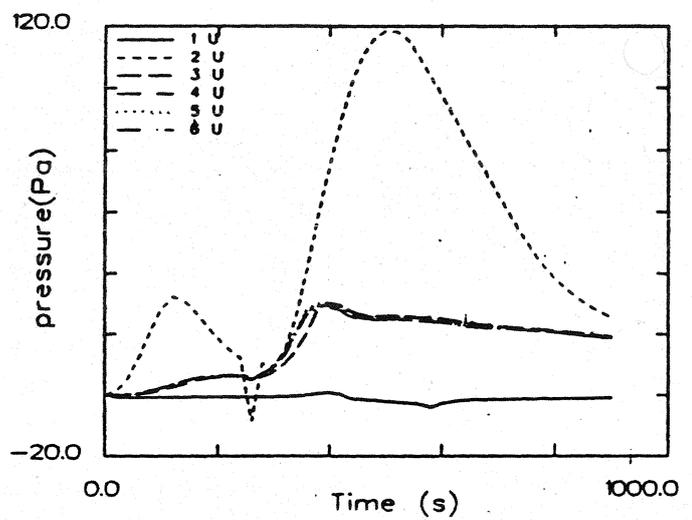
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

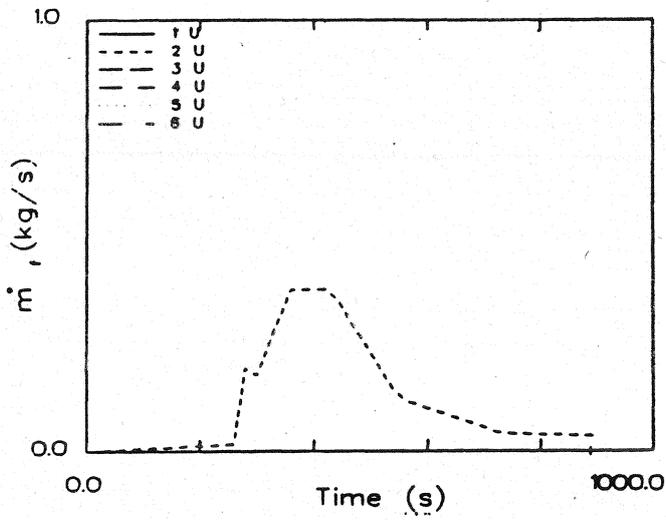


Dicke der rauchfreien Schicht

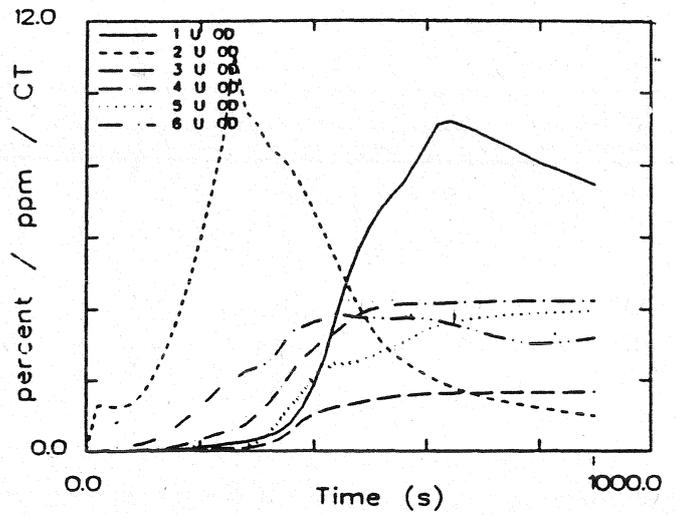


Druckänderung am Fußboden

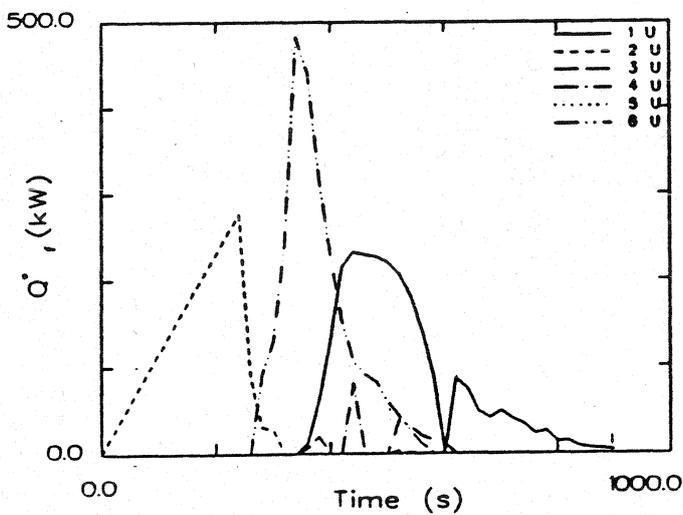
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



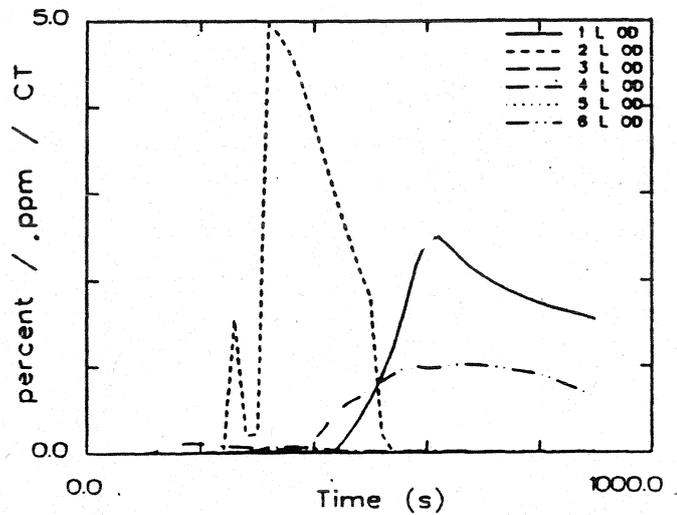
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

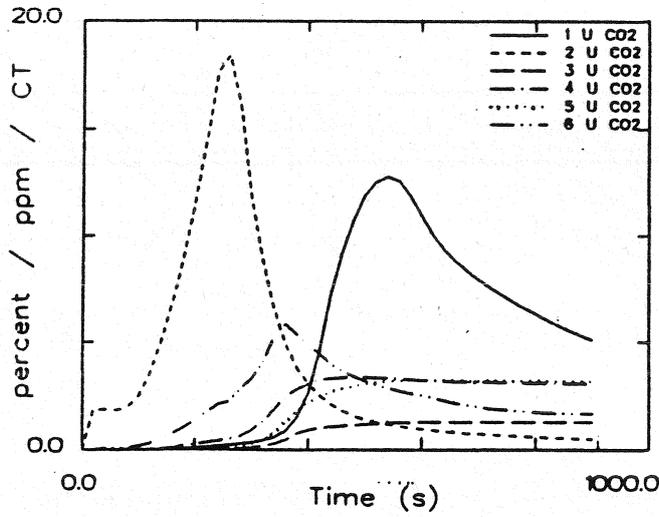


Energiefreisetzung

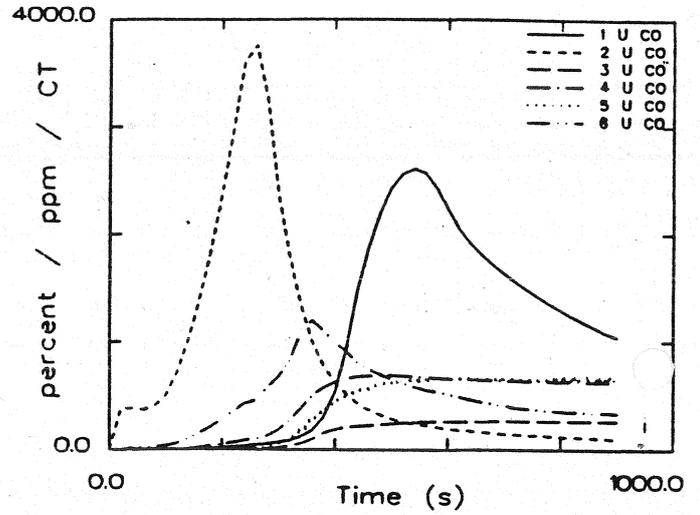


Optische Rauchdichte untere Schicht

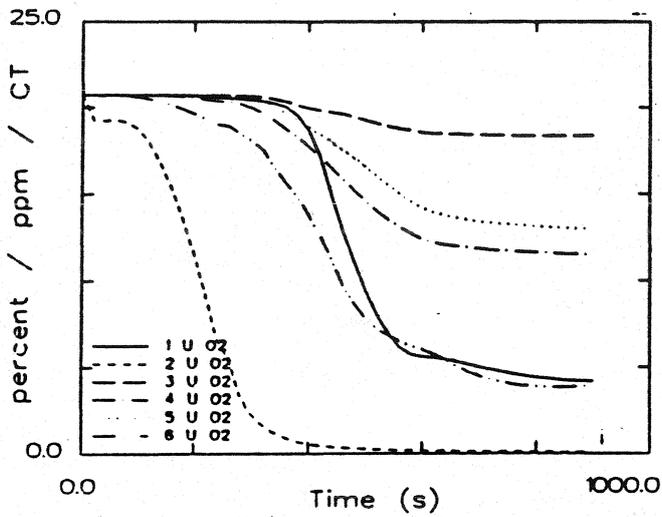
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



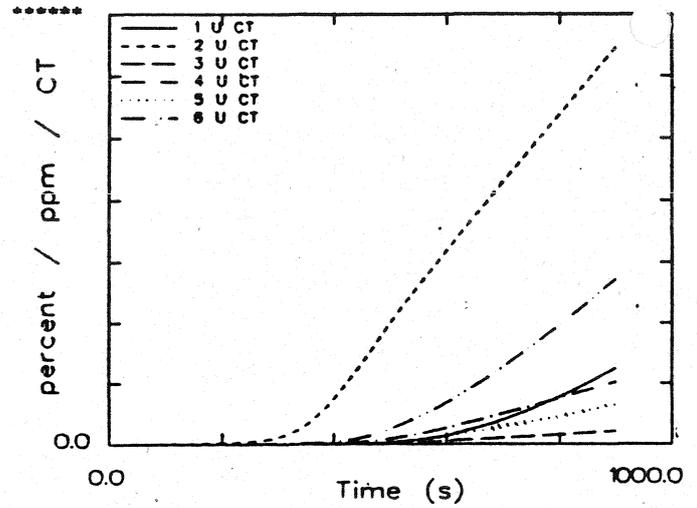
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

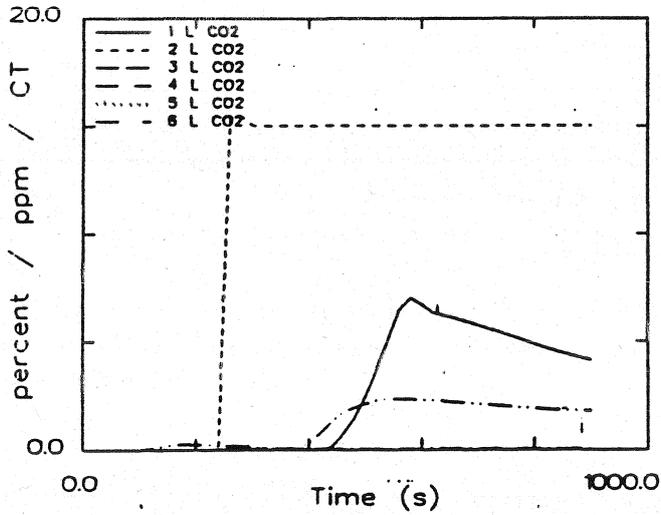


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

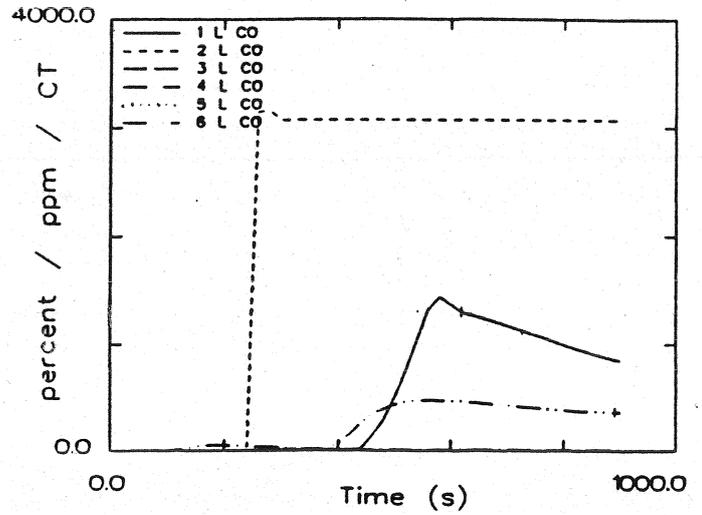


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

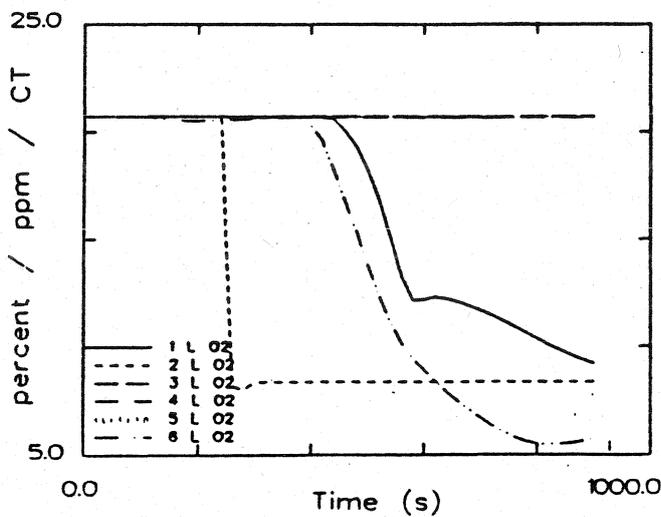
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



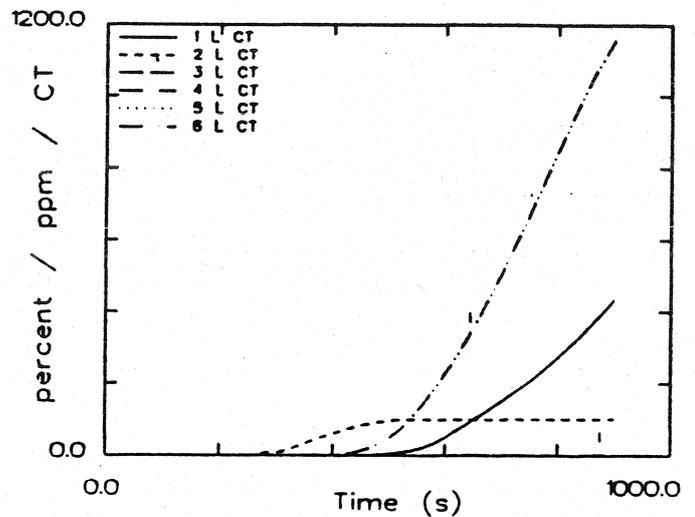
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



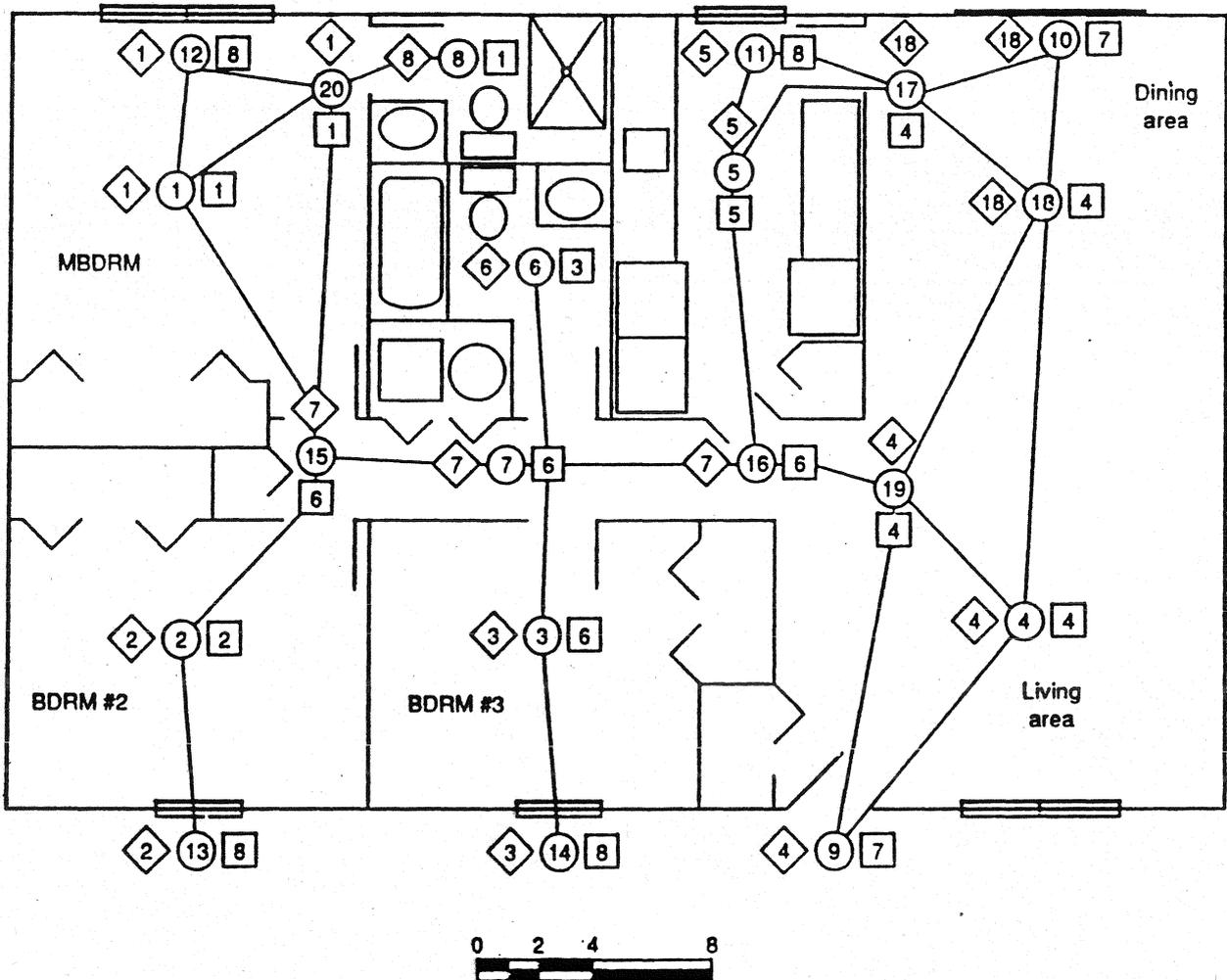
Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

Systemübersicht für Berechnungen

# SCEN340

## Floor Plan and EXITT Building Description for Scenario 3

- ◇ EXITT - room number associated with node
- EXITT - node number
- Fast room number associated with node



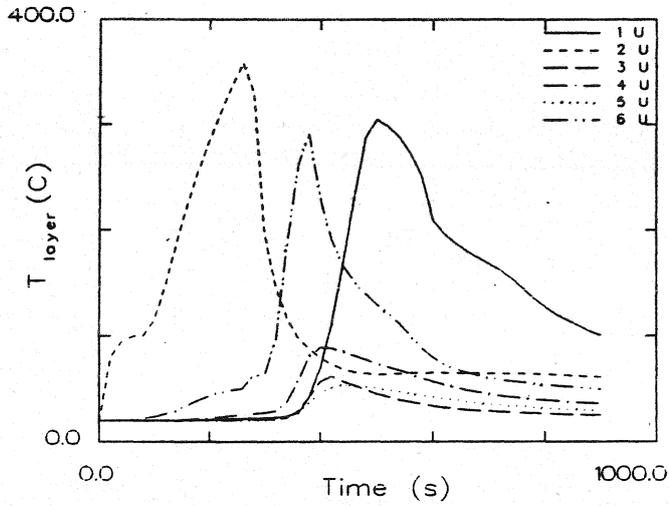
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

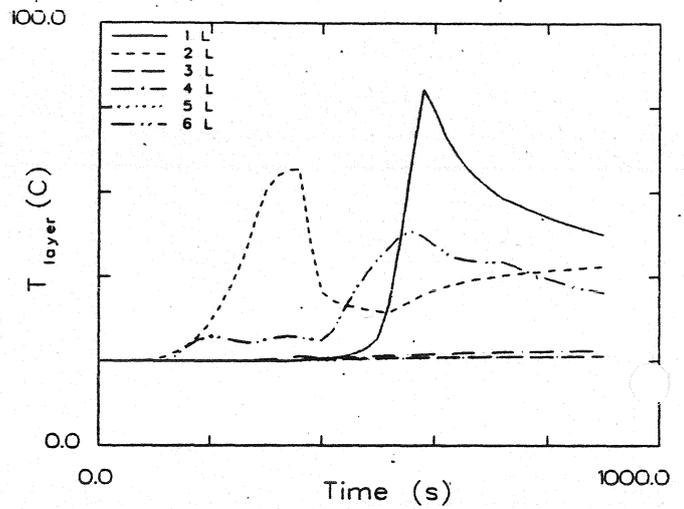
VERSION      13                      Scenario 3, Ranch House, Flaming Mattress 30340
TIMES        900                      50                      20                      0                      0
TAMB        290.  101300.              0.
EAMB        270.  101300.              0.
HI/F        0.99  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
WIDTH       3.60  3.00  2.70  4.50  2.70  3.05
DEPTH       3.80  3.60  3.80  3.10  3.80  5.50
HEIGHT      3.40  3.40  3.40  3.40  3.40  3.40
HVENT       1  5  1  0.01  2.10  0.00
HVENT       1  7  1  0.81  1.22  0.91  0.00
HVENT       2  6  1  0.01  2.10  0.00
HVENT       3  6  1  0.01  2.10  0.00
HVENT       4  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT       4  6  1  1.10  2.10  0.00
CVENT       1  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT       1  7  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT       2  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT       3  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT       4  5  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT       4  6  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CEILI GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM
WALLS GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM  GYPSUM
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI      0.  0.  6.0  18100000.  300.
LFBO       2
LFBT       2
LFPOS      1
LFMAX      8
FTIME      260.  20.  20.  60.  70.  120.  180.  770.
FMASS      0.0000 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.0410 0.0165
FHIGH      0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
FAREA      0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50
FQDOT      0.00  2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06 6.81E+06 2.21E+06 7.42E+05
          .99E+05
CT         1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR        0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR     SC340.DMP

```

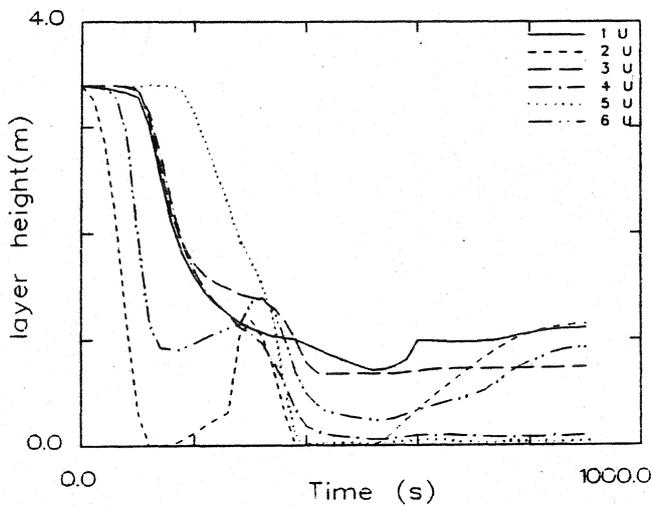
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



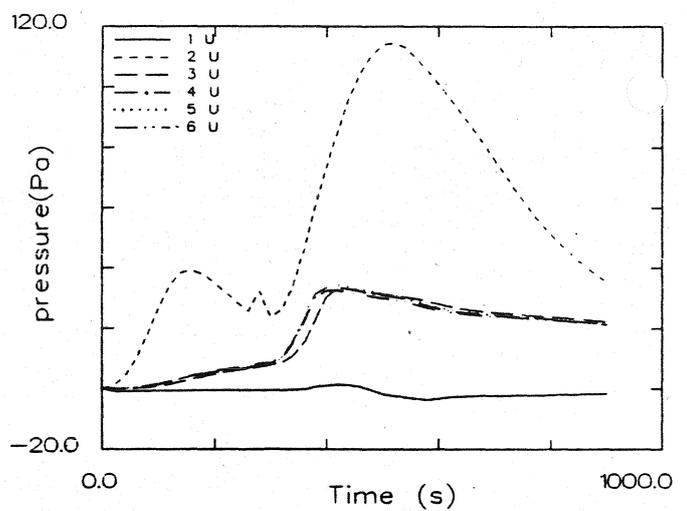
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

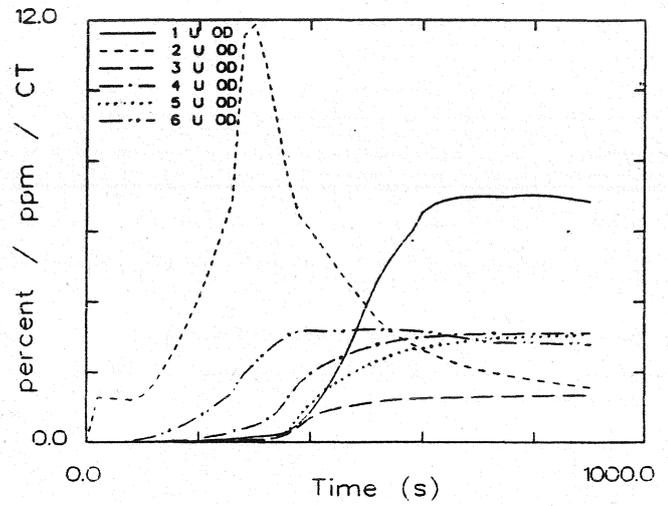
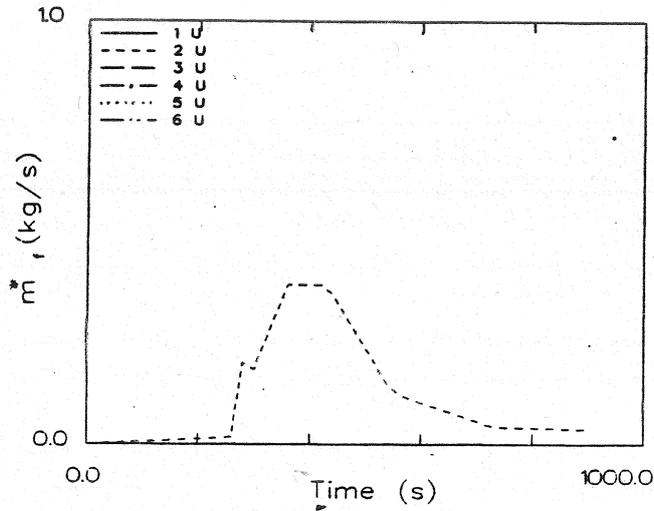


Dicke der rauchfreien Schicht



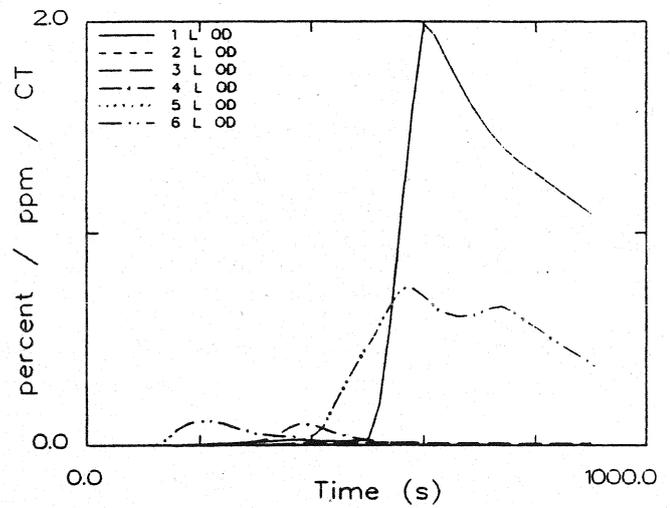
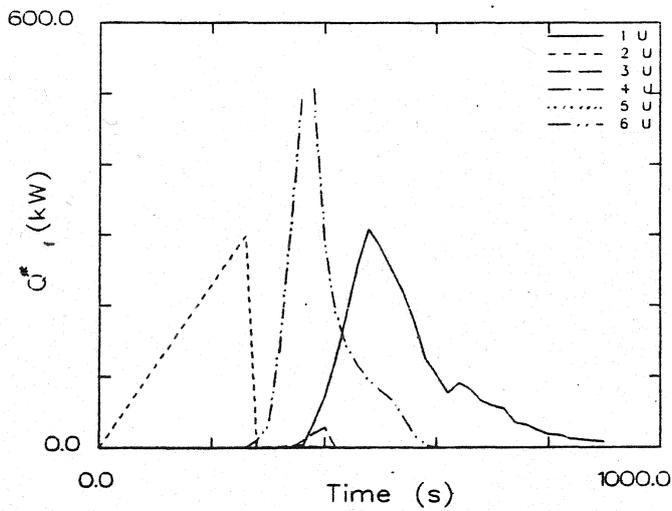
Druckänderung am Fußboden

# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

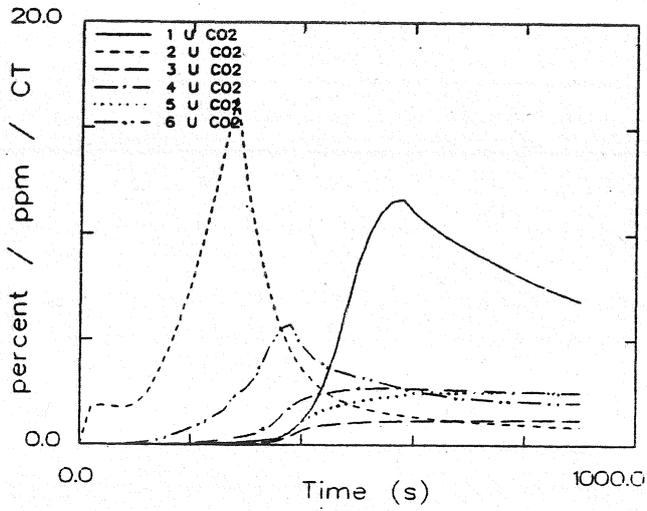
Optische Rauchdichte obere Schicht



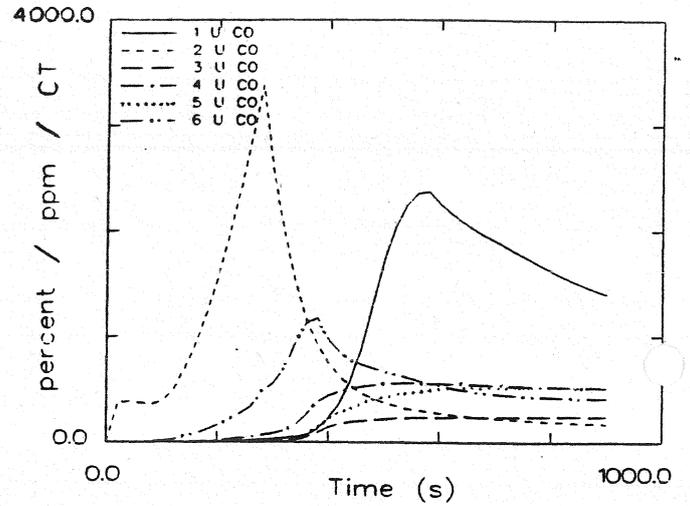
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

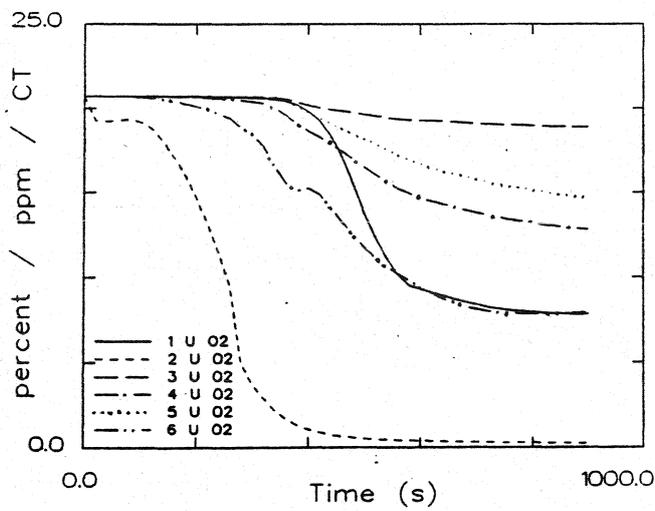
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



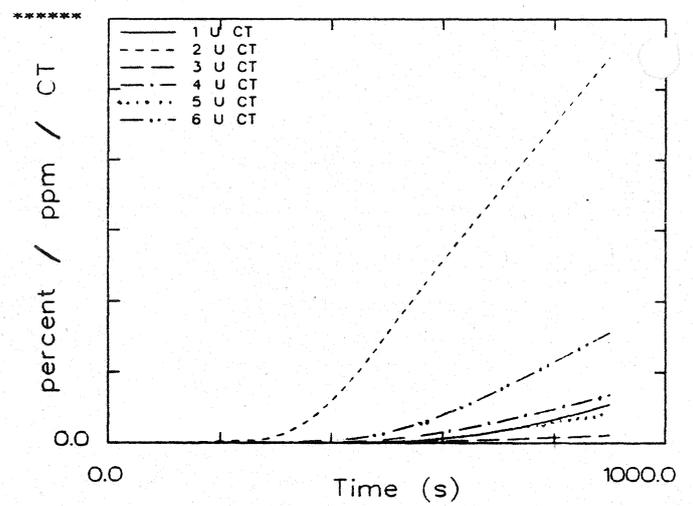
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

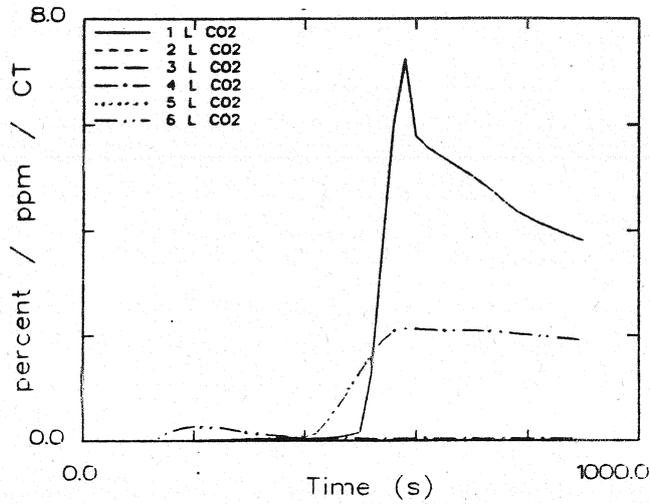


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

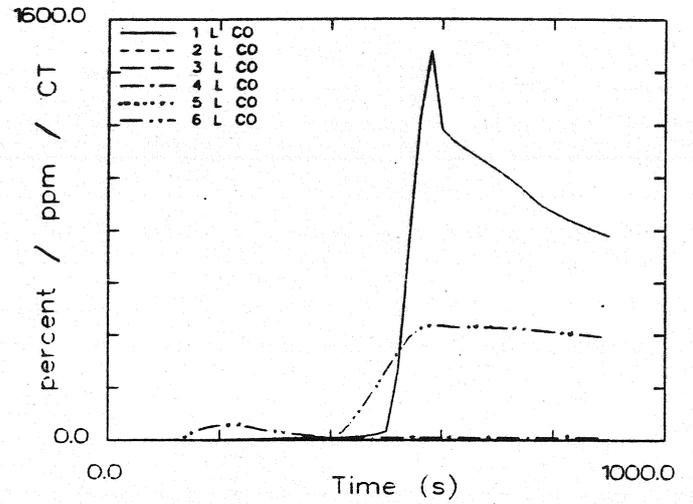


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

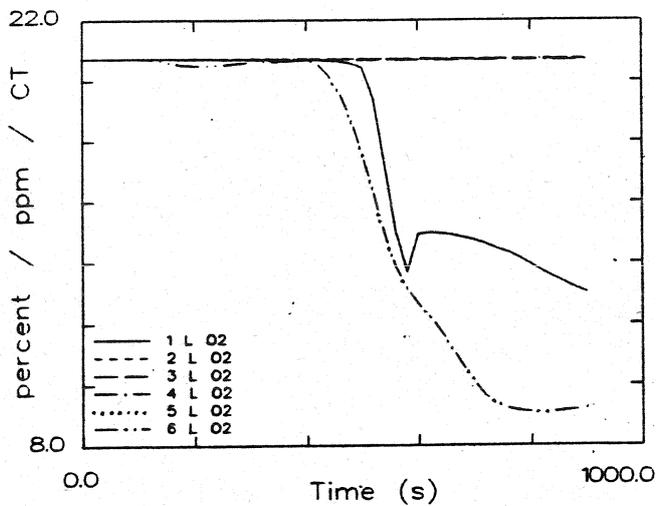
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



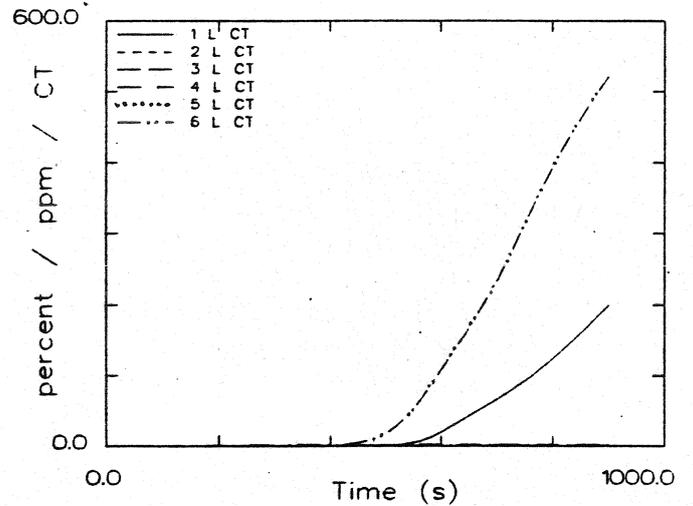
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



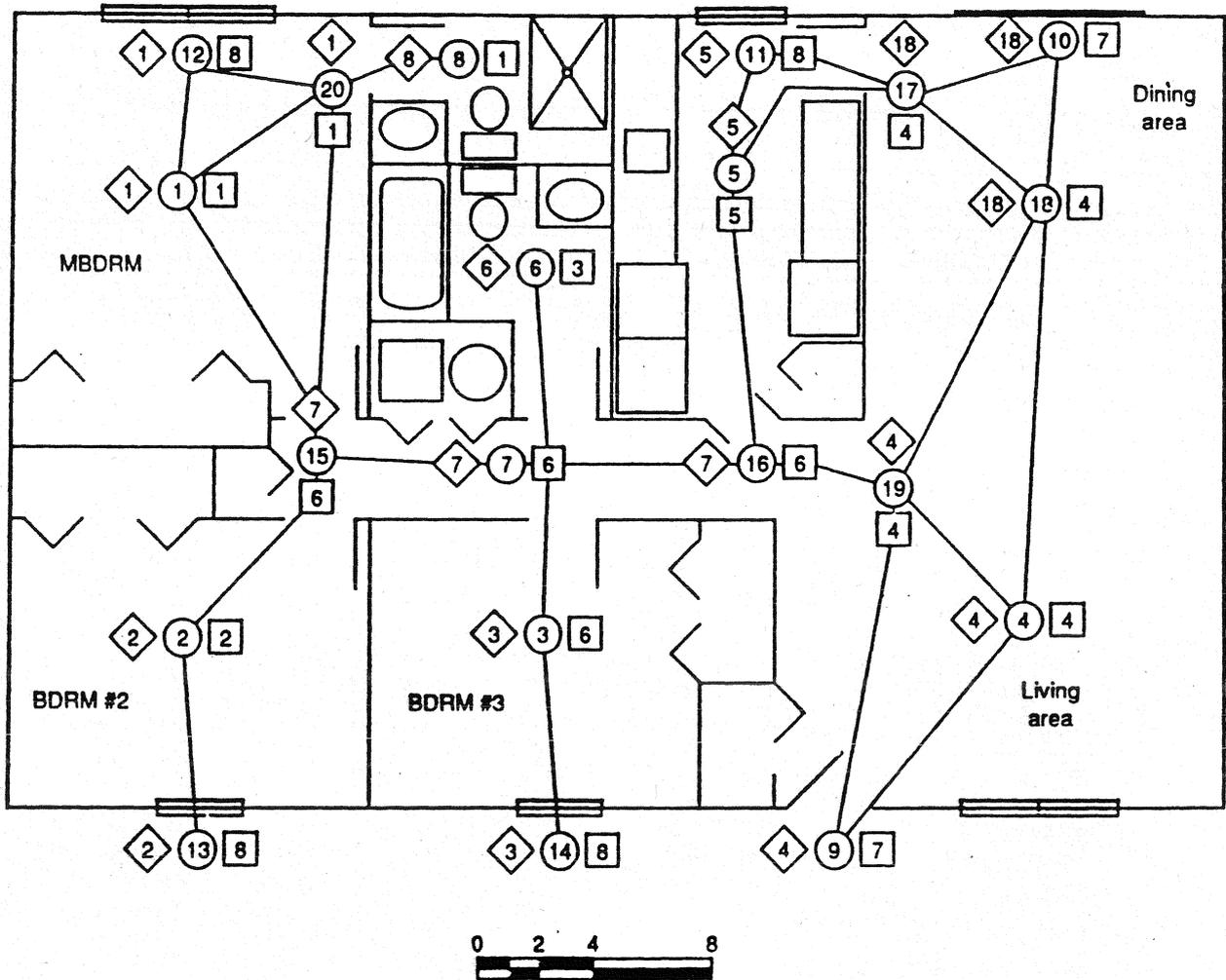
Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

Systemübersicht für Berechnungen

# SCEN3400

## Floor Plan and EXITT Building Description for Scenario 3

- ◇ EXITT - room number associated with node
- EXITT - node number
- Fast room number associated with node



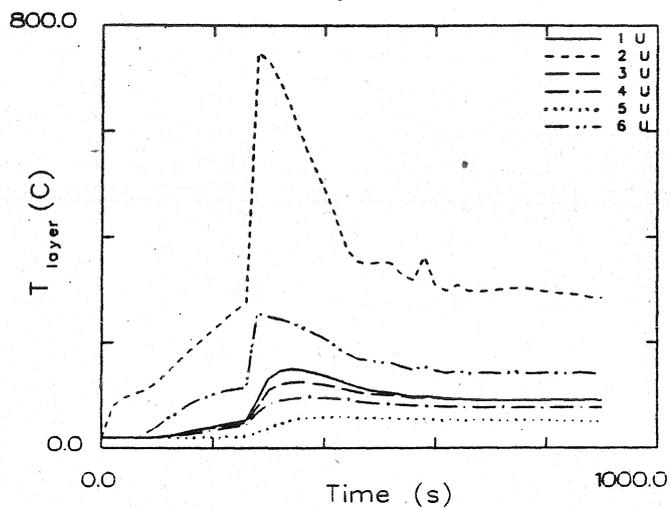
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

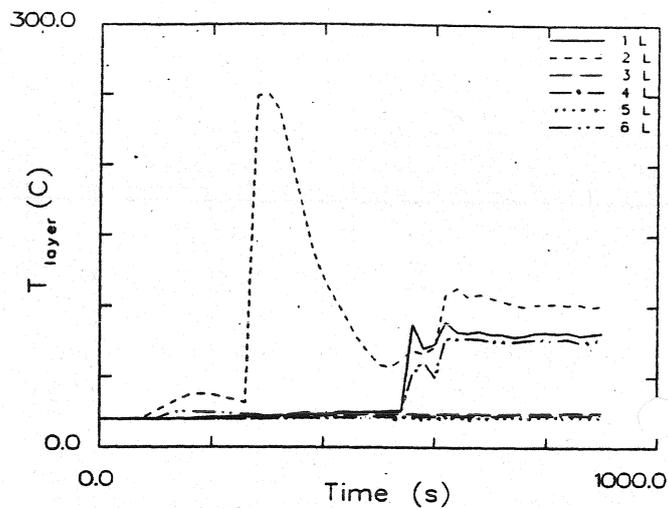
VERSEN 13 Scenario 3, mit offenen Türen Höhe = 3.40 m SC3400
TIMES 900 50 20 1 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 273. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH 3.60 3.00 2.70 4.50 2.70 3.05
DEPTH 3.80 3.60 3.80 3.10 3.80 5.50
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40
HVENT 1 6 1 0.81 2.10 0.00
HVENT 1 7 1 0.81 1.22 0.91 0.00
HVENT 2 6 1 0.81 2.10 0.00
HVENT 3 6 1 0.81 2.10 0.00
HVENT 4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 6 1 1.10 2.10 0.00
CVENT 1 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 2 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 3 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 4 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 4 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CEILI GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
WALLS GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM GYPSUM
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 8
FTIME 260. 20. 20. 60. 70. 120. 180. 770.
FMASS 0.0000 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.0410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
FQDOT 0.00 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06 6.81E+06 2.21E+06 7.42E+05
.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
RESTR OFFEN.DMP 360
DUMPR SC3400.DMP

```

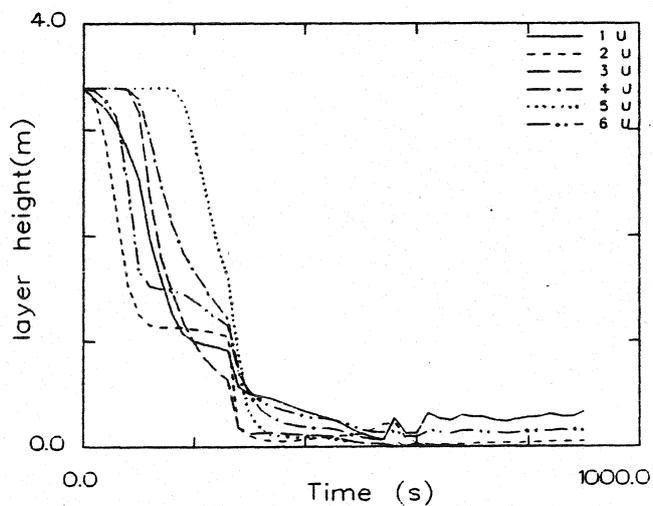
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



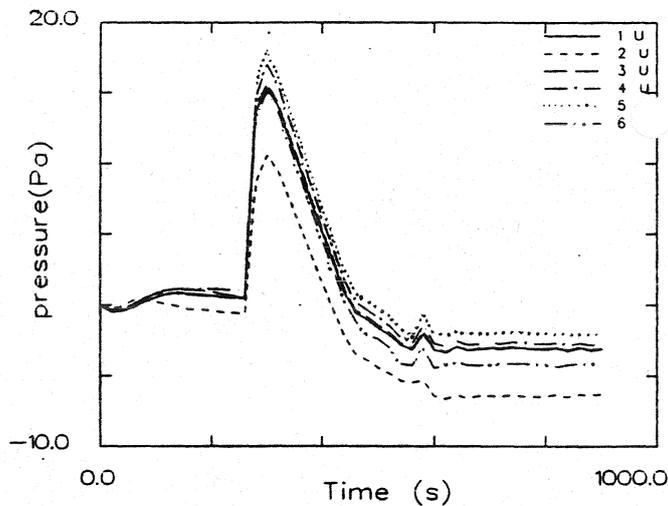
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

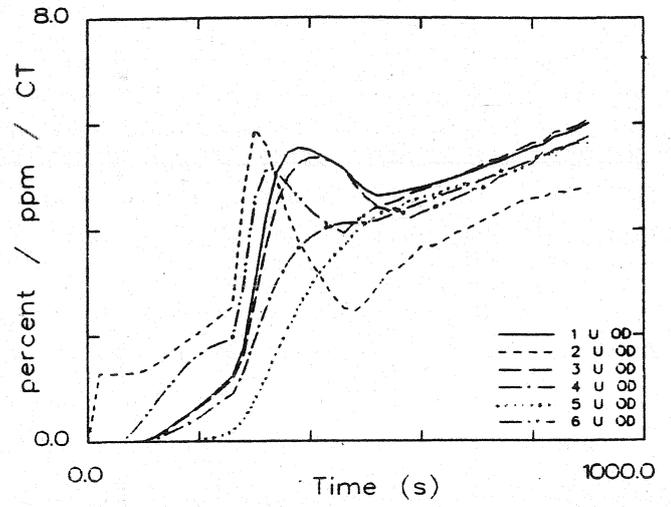
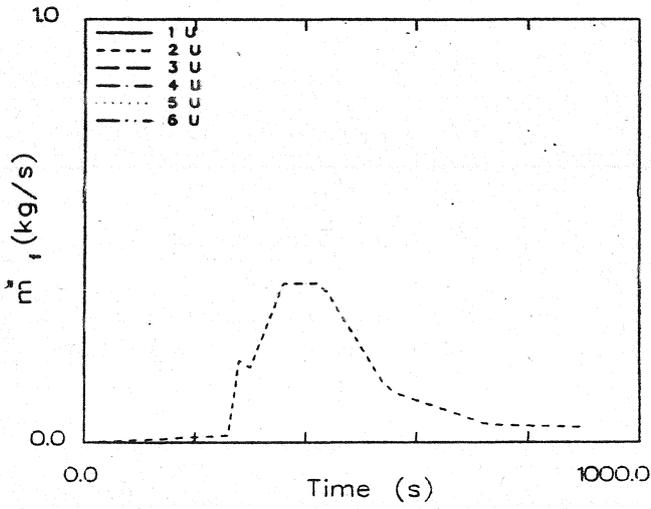


Dicke der rauchfreien Schicht



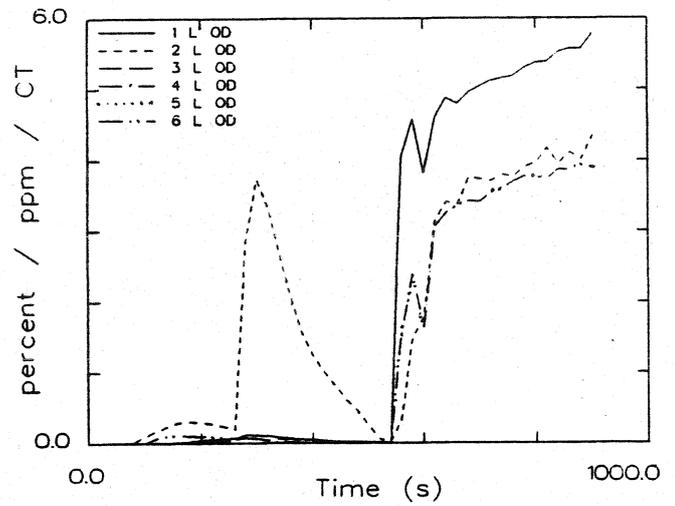
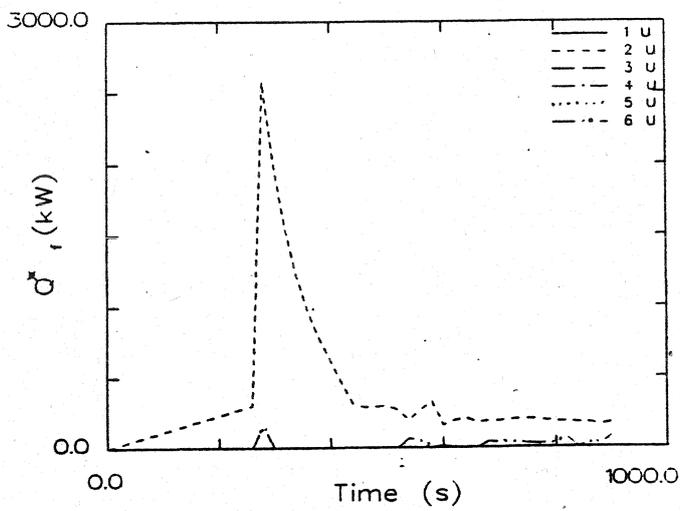
Druckänderung am Fußboden

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

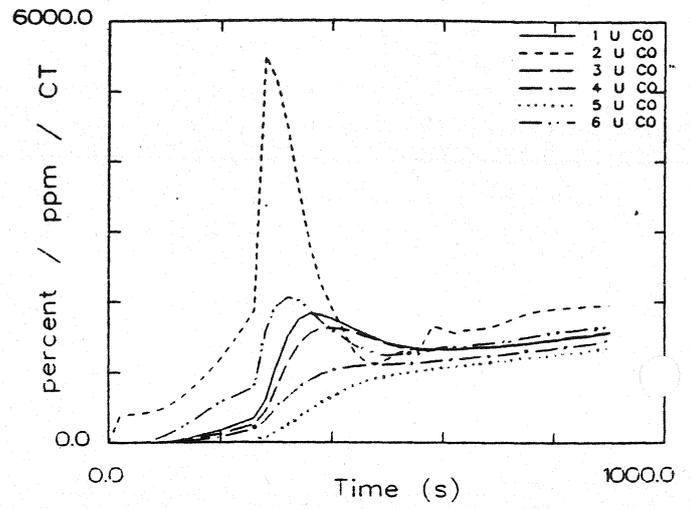
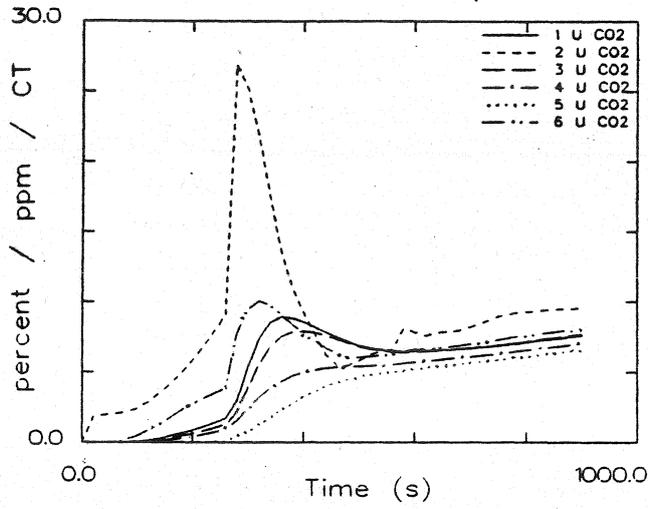
Optische Rauchdichte obere Schicht



Energiefreisetzung

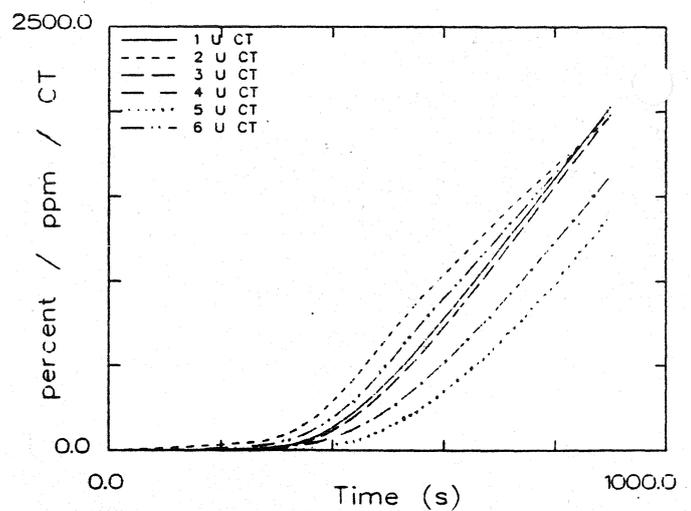
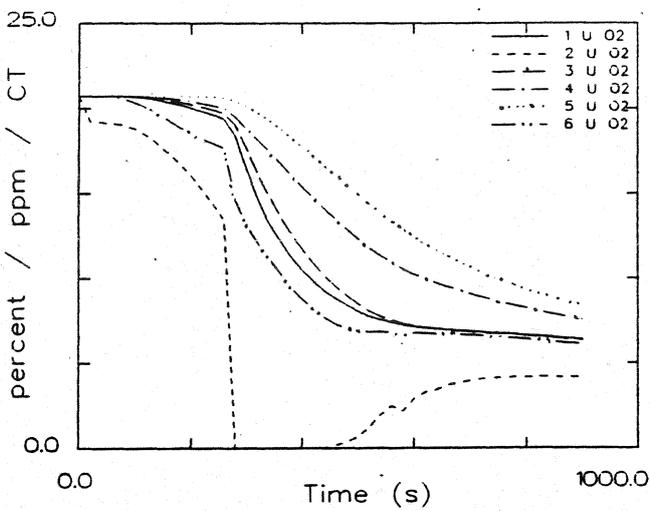
Optische Rauchdichte untere Schicht

Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

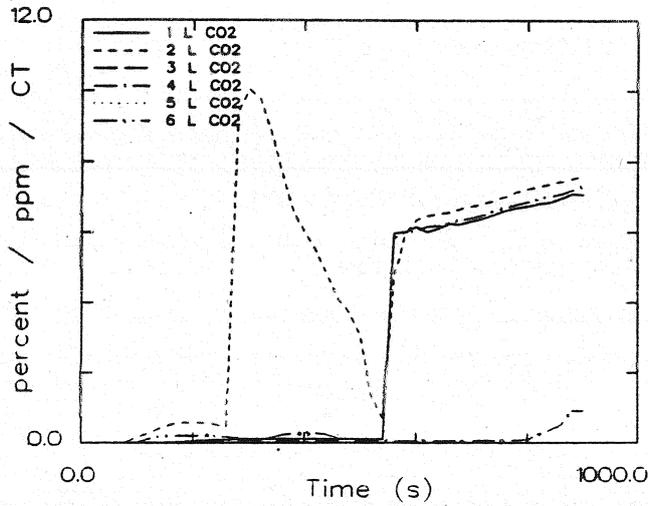
CO - Konzentration obere Schicht



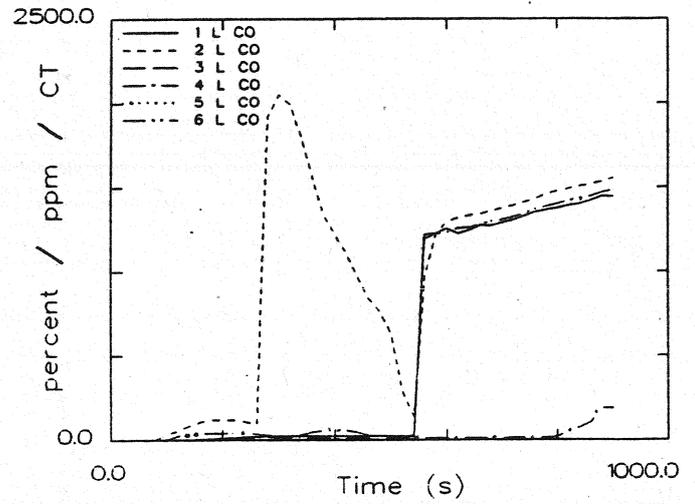
O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

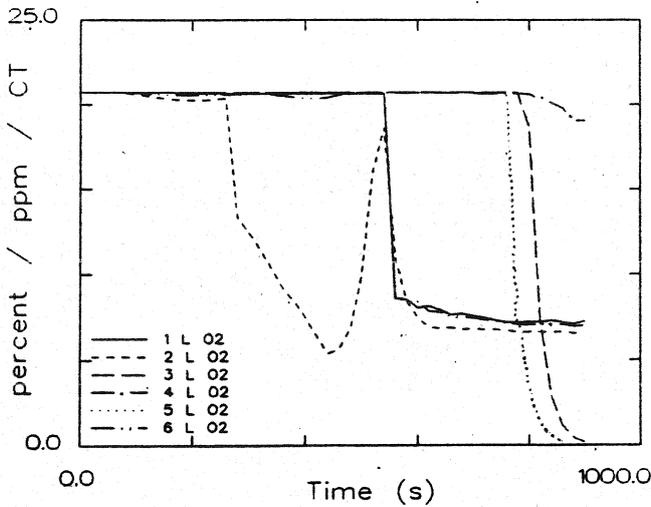
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



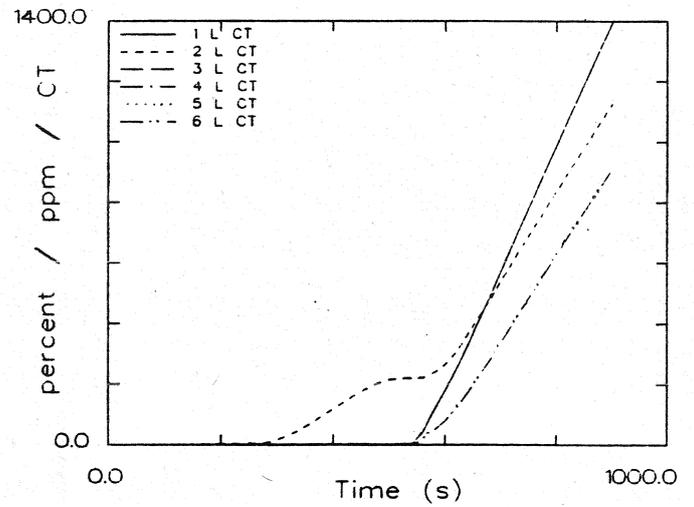
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

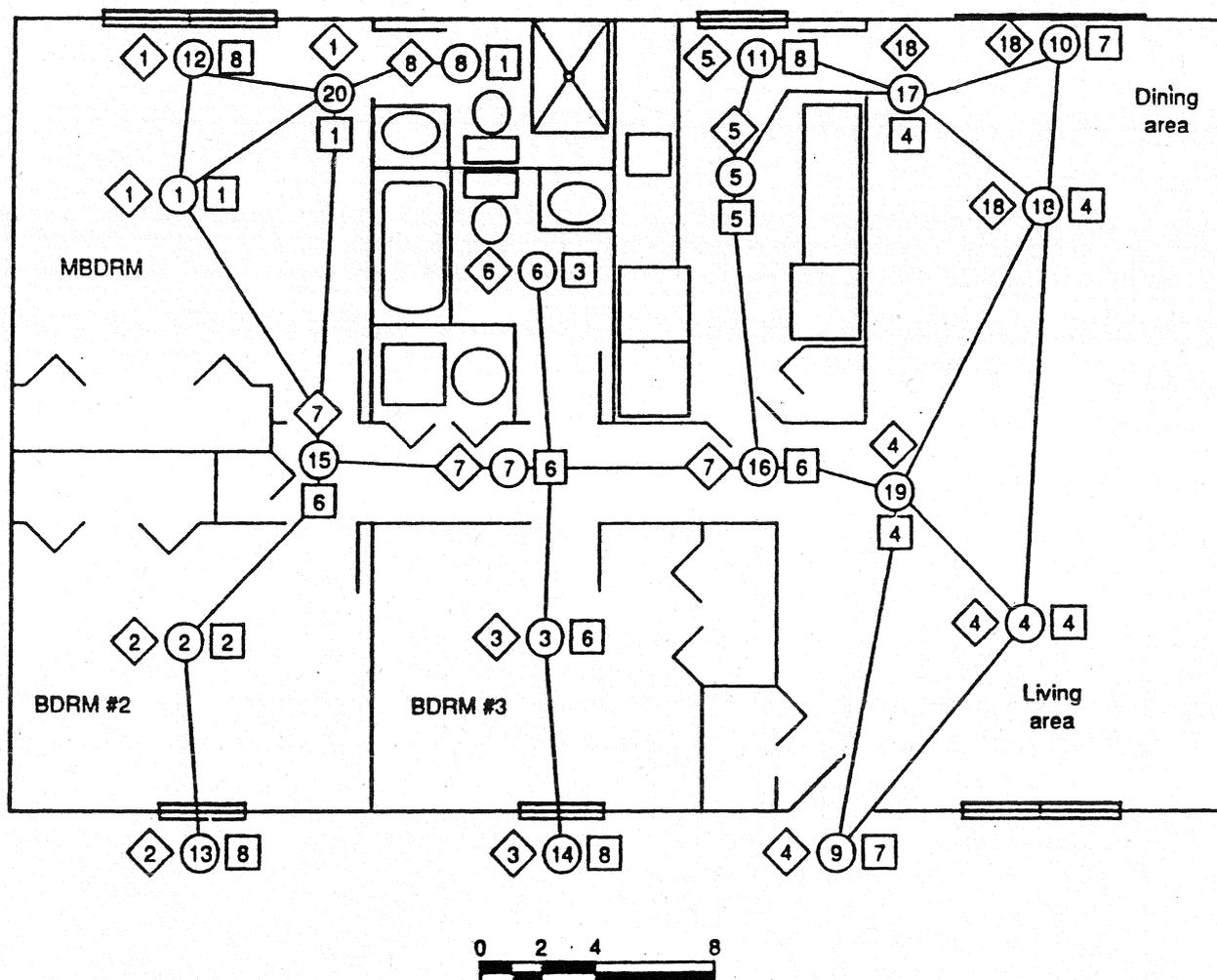


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

# SCEN340C

## Floor Plan and EXITT Building Description for Scenario 3

- ◇ EXITT - room number associated with node
- EXITT - node number
- Fast room number associated with node



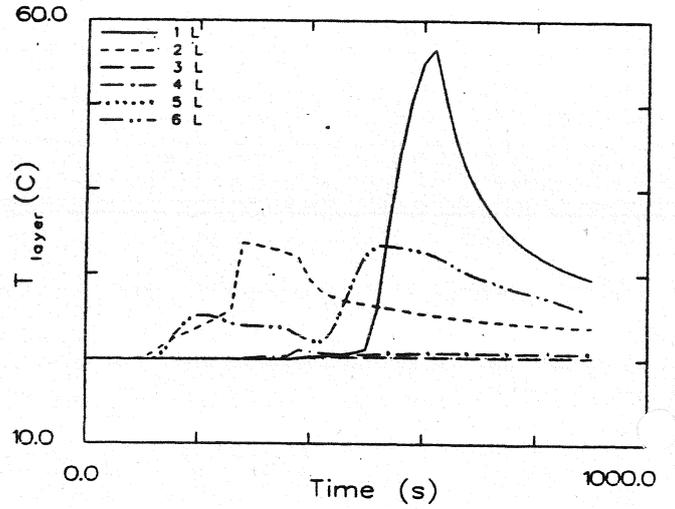
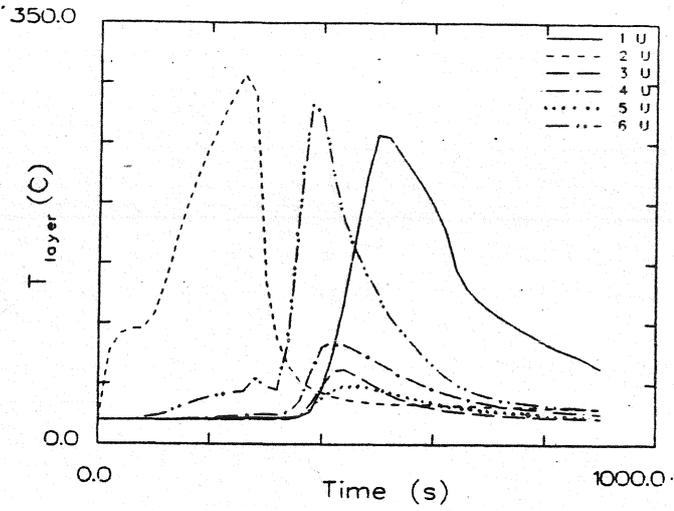
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

VERSN      13                      Scenario 3, Ranch House, Flaming Mattress SC340C
TIMES      900  50  20              1  0
TAMB      293.  101300.              0.
EAMB      273.  101300.              0.
HI/F       0.00   0.00   0.00   0.00   0.00   0.00
WIDTH     3.60   3.00   2.70   4.50   2.70   3.95
DEPTH     3.80   3.60   3.80   8.10   3.80   5.50
HEIGH     3.40   3.40   3.40   3.40   3.40   3.40
HVENT     1  6  1   0.01   2.10   0.00
HVENT     1  7  1   0.31   1.22   0.91   0.00
HVENT     2  6  1   0.01   2.10   0.00
HVENT     3  6  1   0.01   2.10   0.00
HVENT     4  5  1   1.10   2.10   0.00
HVENT     4  6  1   1.10   2.10   0.00
CVENT     1  6  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     1  7  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     2  6  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     3  6  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     4  5  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CVENT     4  6  1   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI      0.    0.    6.0   18100000.  300.
LFBO       2
LFBT       2
LFPOS      1
LFMAX      8
FTIME     260.   20.   20.   60.   70.   120.   180.   770.
FMASS     0.0000 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.0410 0.0165
FHIGH     0.00   0.00   0.00   0.00   0.00   0.00   0.00   0.00   0.00
FAREA     0.50   0.50   0.50   0.50   0.50   0.50   0.50   0.50   0.50
FQDOT     0.00   2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06 6.81E+06 2.21E+06 7.42E+05
          .99E+05
CT         1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR        0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR SC340C.DMP

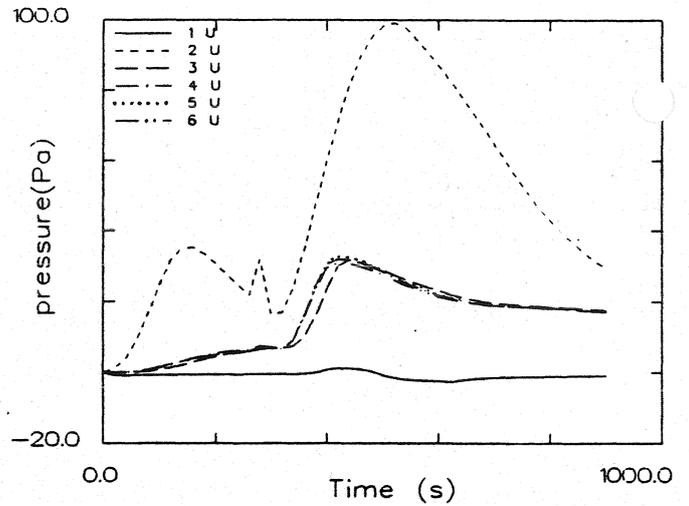
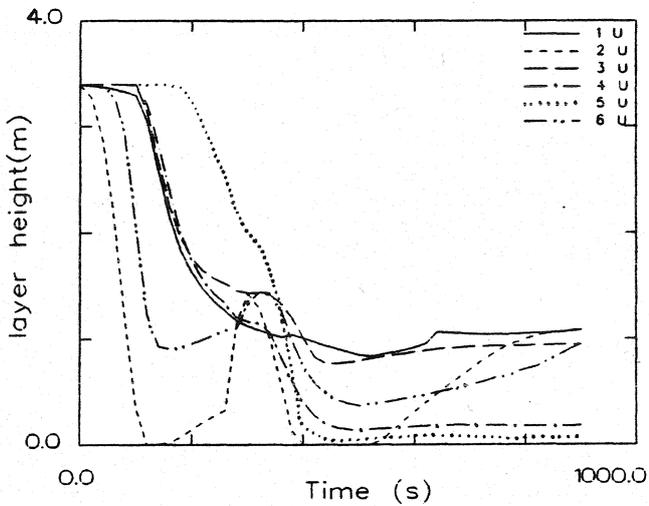
```

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



**Temperatur der Heißgasschicht**

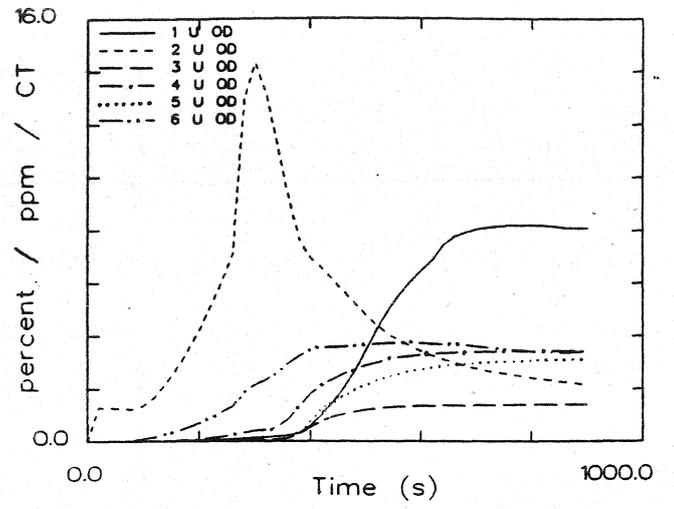
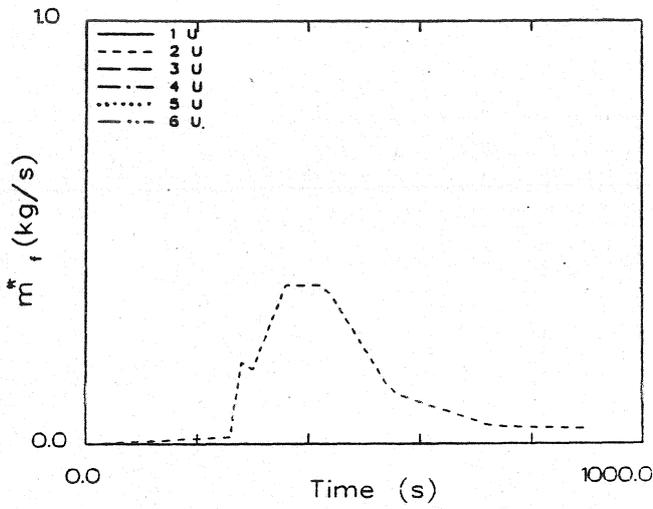
**Temperatur der unteren Schicht**



**Dicke der rauchfreien Schicht**

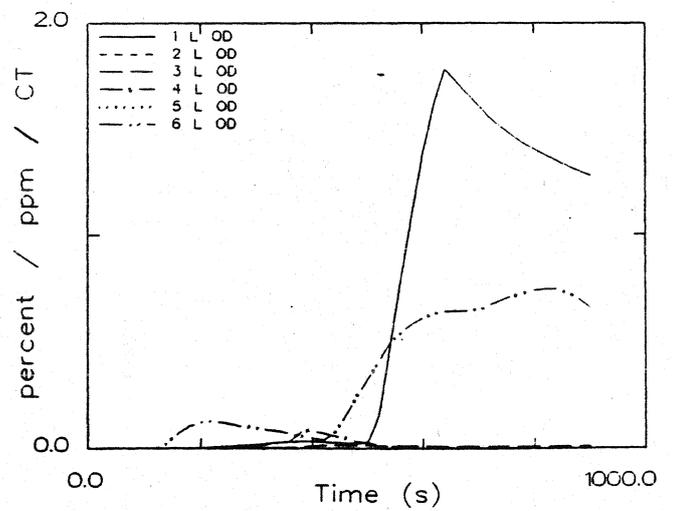
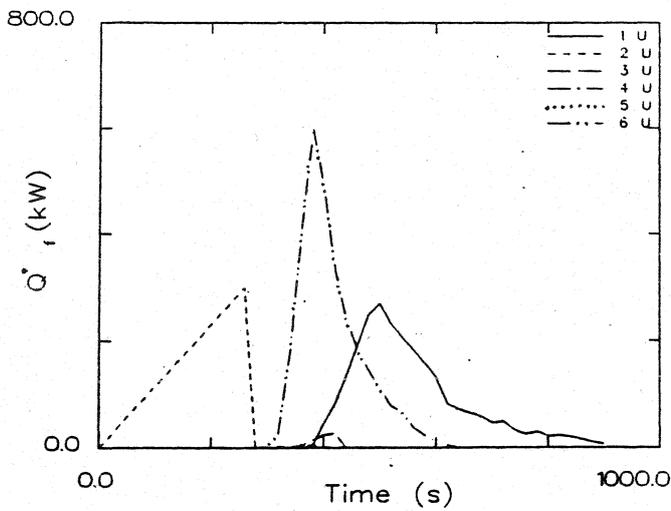
**Druckänderung am Fußboden**

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



**Abbrandrate**

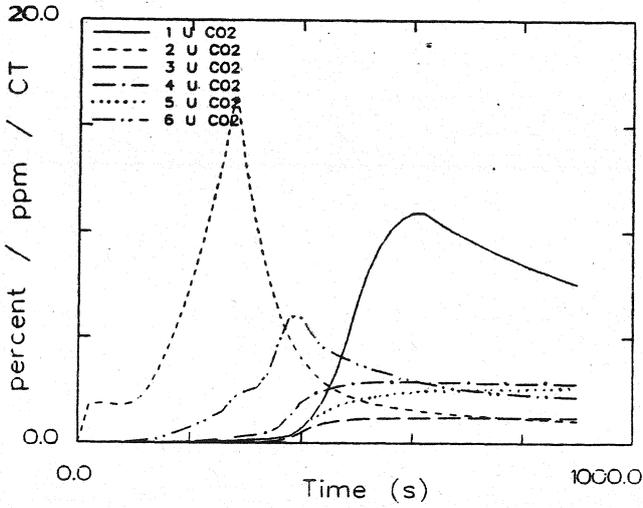
**Optische Rauchdichte obere Schicht**



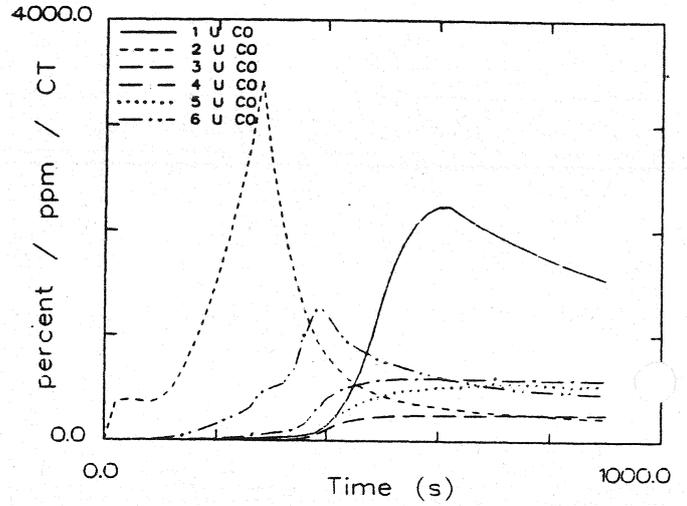
**Energiefreisetzung**

**Optische Rauchdichte untere Schicht**

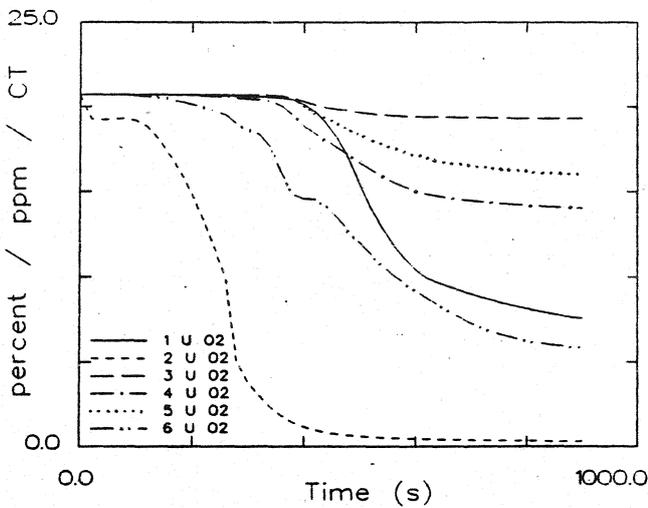
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



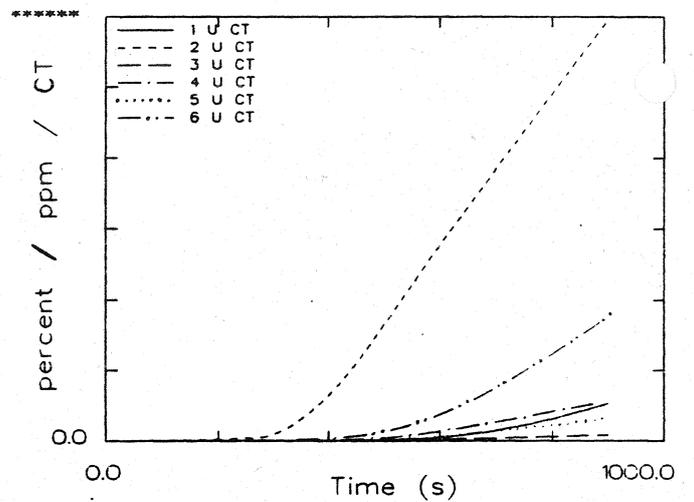
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

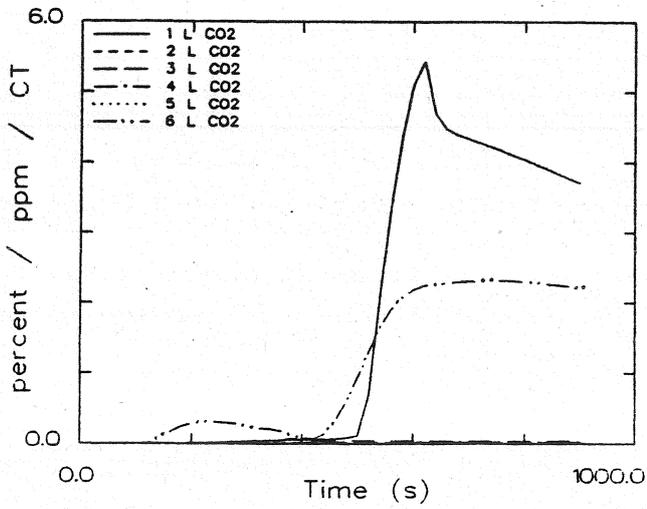


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

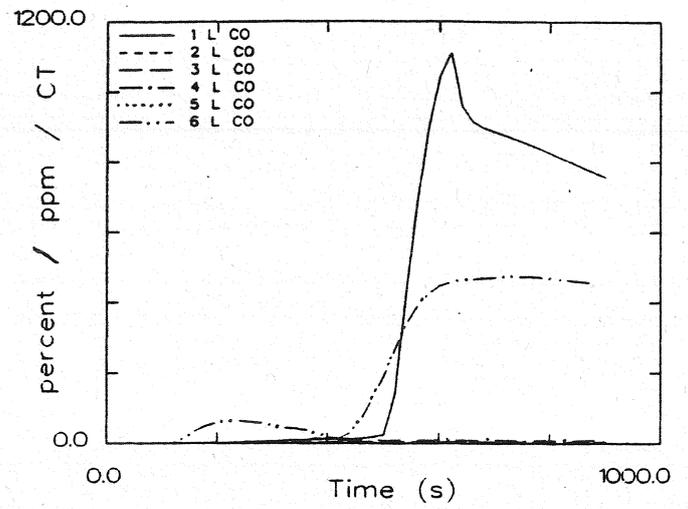


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

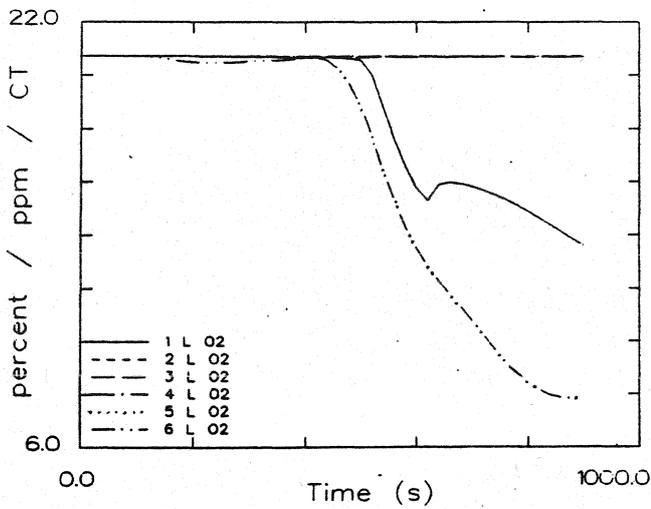
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



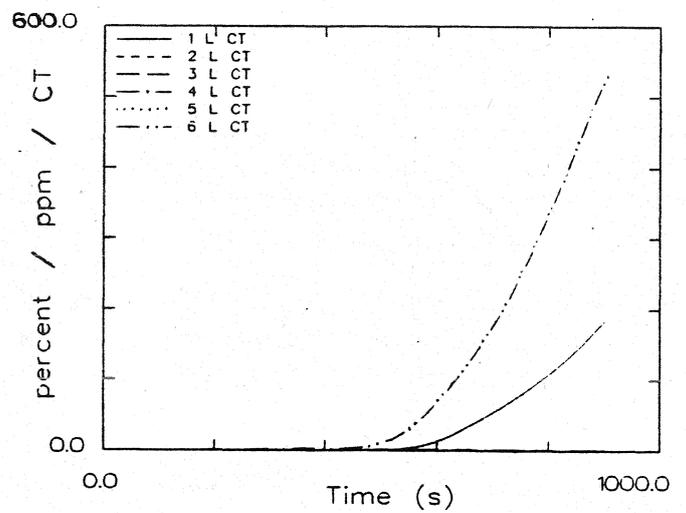
**CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**CO - Konzentration untere Schicht**



**O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht**

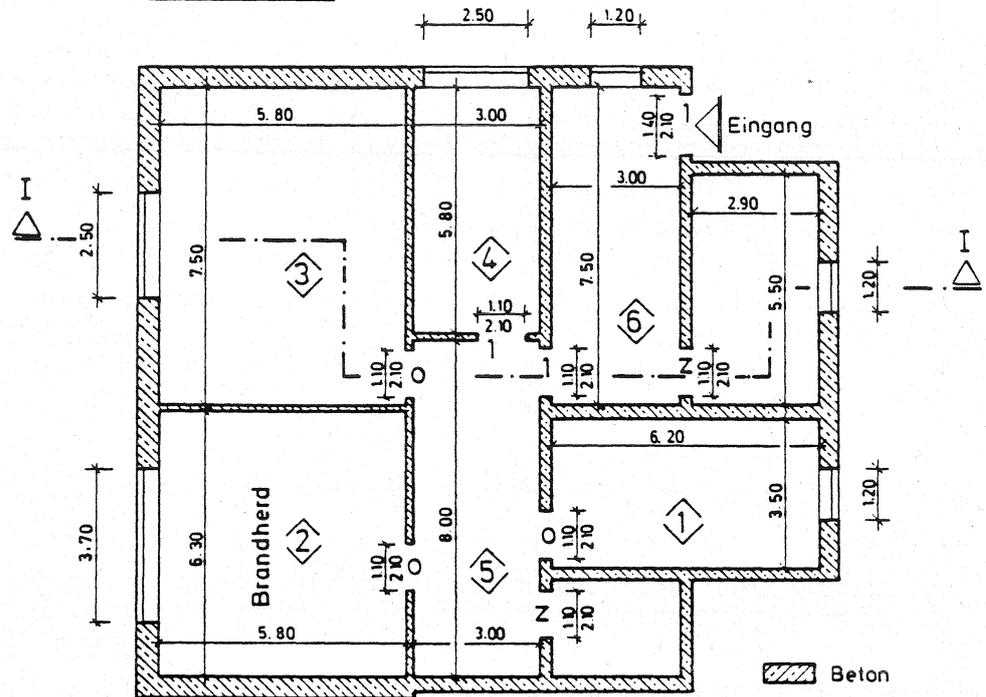
## **Anlagen 2**

**Berechnungen mit F A S T  
für das Bezirkskrankenhaus Haar**

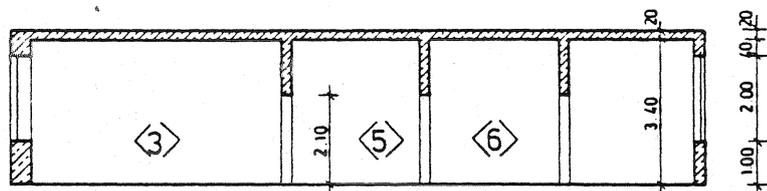
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR1

Grundriß 1



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- 1 = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

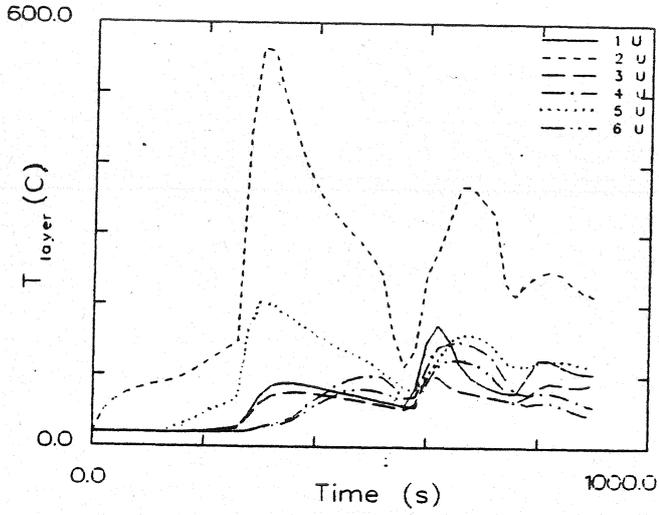
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

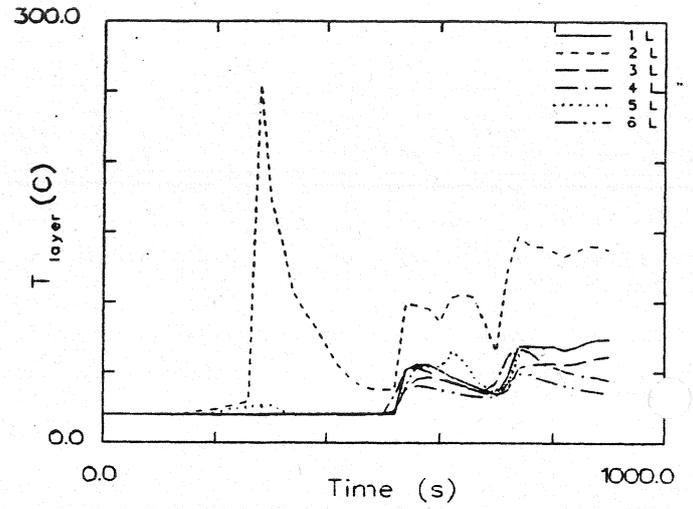
VERSN      13  Scenario 3. Haer ein Geschoss, Fall 1  HAAR1
TIMES      900  50  20  0  0
TAMB      293. 101300.  0.
EAMB      273. 101300.  0.
HI/F       0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
WIDTH      6.20  6.30  7.50  5.80  3.00  7.50
DEPTH      3.50  5.80  5.90  3.00  3.00  3.00
HEIGH      3.40  3.40  3.40  3.40  3.40  3.40
HVENT      1  5  1  1.10  2.00  0.00
HVENT      1  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
HVENT      2  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT      2  7  1  3.70  3.00  1.00  0.00
HVENT      3  5  1  1.00  2.10  0.00
HVENT      3  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT      4  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT      4  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT      5  6  1  1.10  2.10  0.00
HVENT      6  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
HVENT      6  7  2  1.40  2.10  0.00  0.00
CVENT      1  5  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT      1  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      2  5  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT      2  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      3  5  1  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
CVENT      3  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      4  5  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      4  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      5  6  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      6  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CVENT      6  7  2  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
CEILI      CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
WALLS      CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
FLOOR      CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
CHEMI      0.  0.  6.0  18100000.  300.
LFBO       2
LFBT       2
LFPOS      1
LFMAX      8
FTIME      260.  20.  20.  60.  70.  120.  130.  770.
FMASS      0.0000  0.0165  0.1930  0.1770  0.3760  0.3760  0.1220  0.0410  0.0165
FRIGH      0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
FAREA      0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50
FQDOT      0.00  2.99E+05  3.49E+06  3.20E+06  6.81E+06  6.81E+06  2.21E+06  7.42E+05
          .99E+05
CT         1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000
HCR        0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080
CO         0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
OD         0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
DUMPR      HAAR1.DMP

```

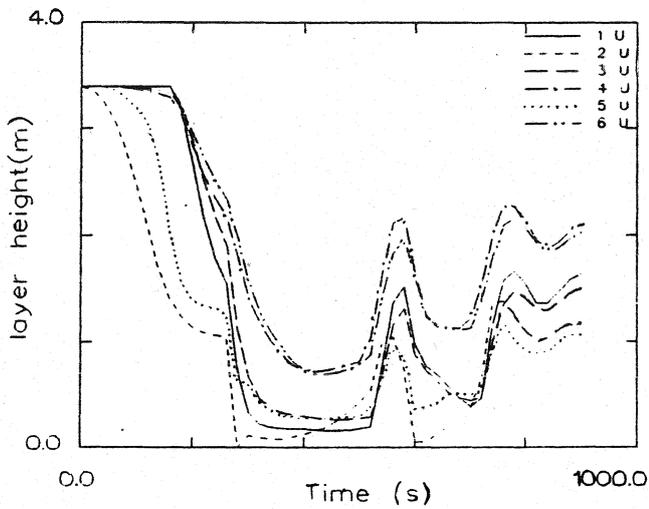
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



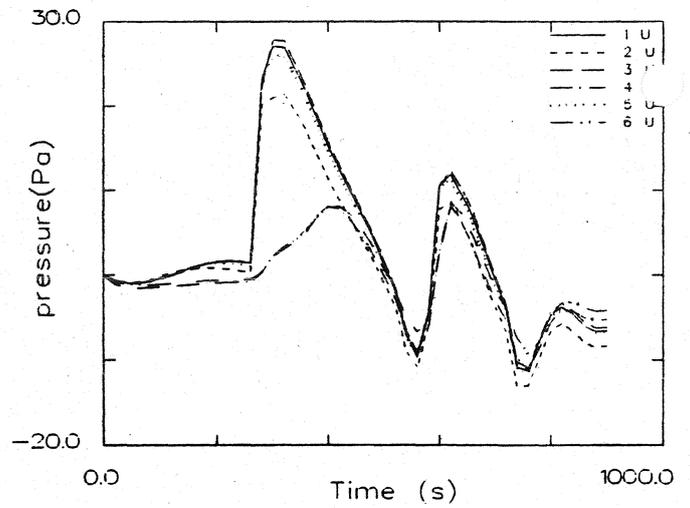
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

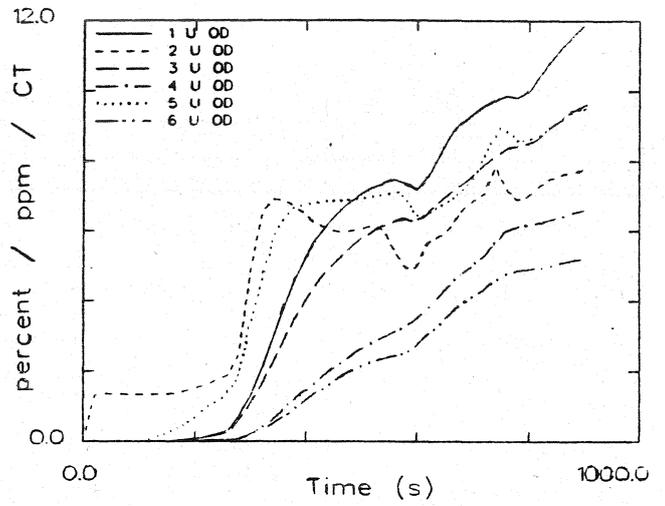
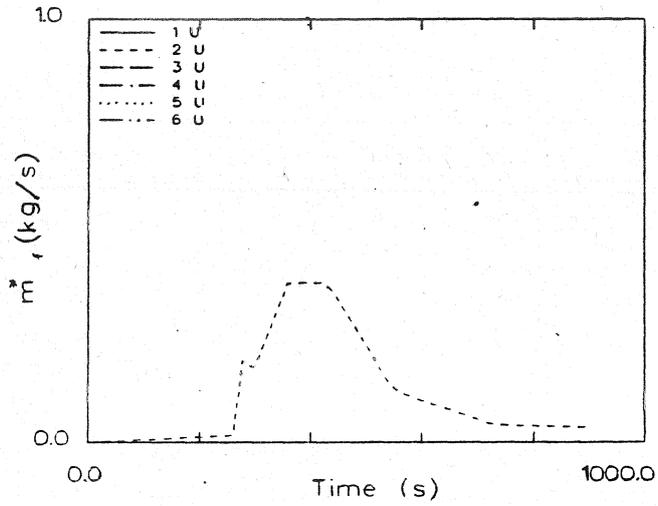


Dicke der rauchfreien Schicht



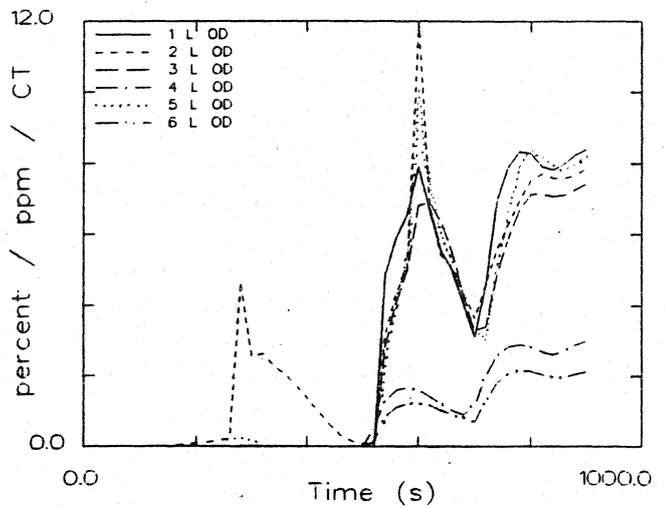
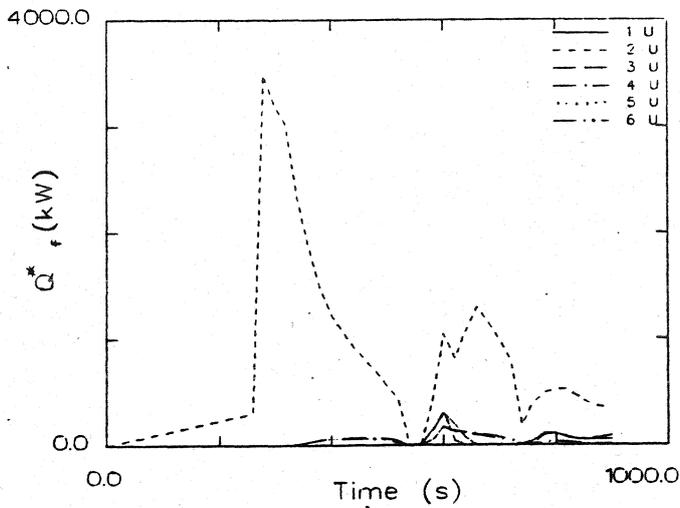
Druckänderung am Fußboden

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



**Abbrandrate**

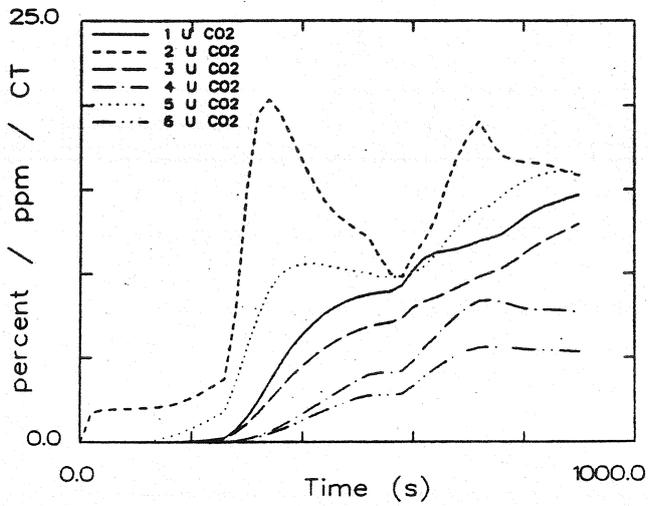
**Optische Rauchdichte obere Schicht**



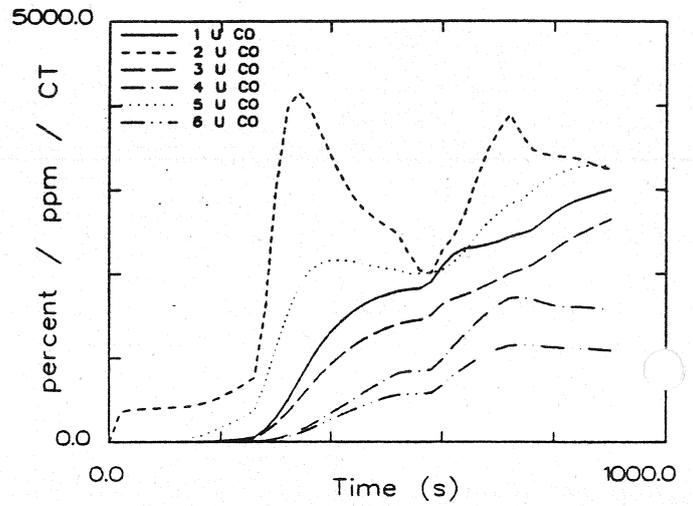
**Energiefreisetzung**

**Optische Rauchdichte untere Schicht**

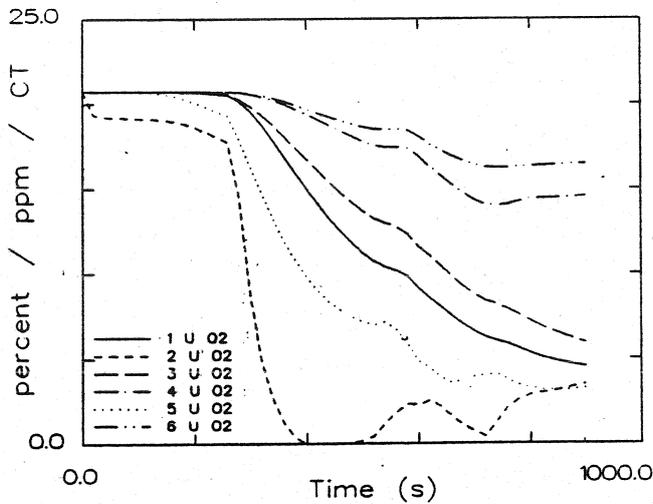
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



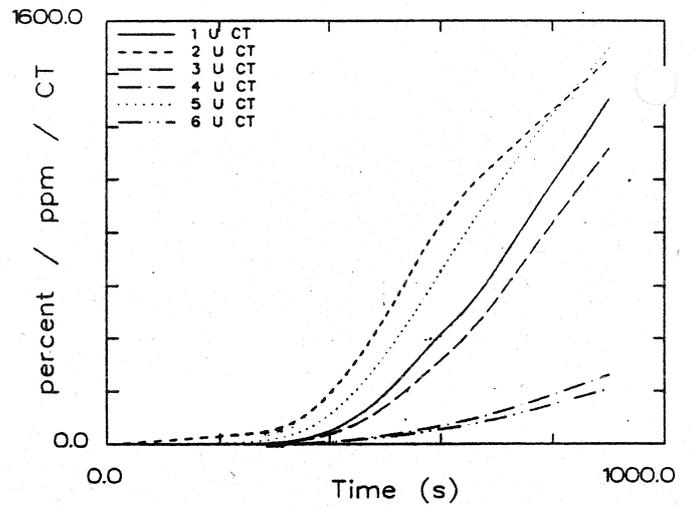
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

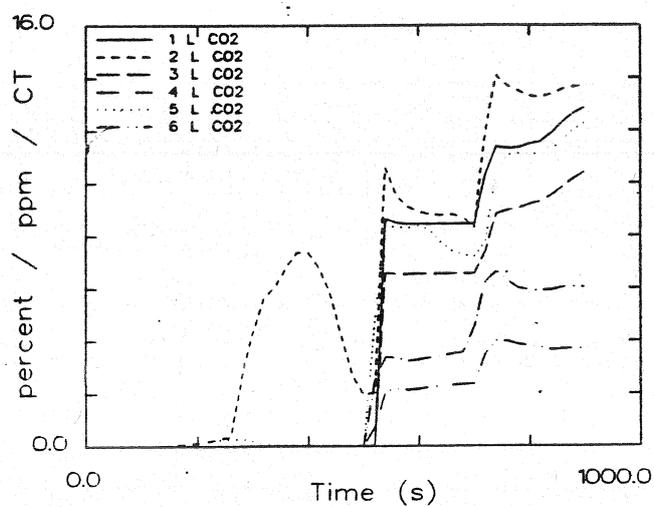


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

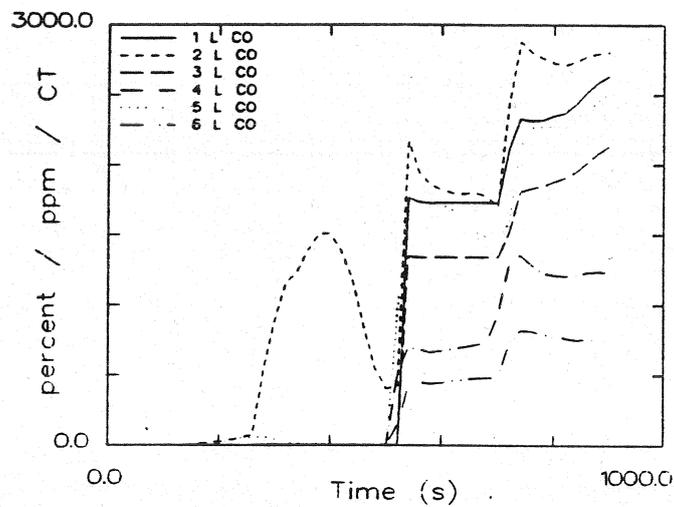


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

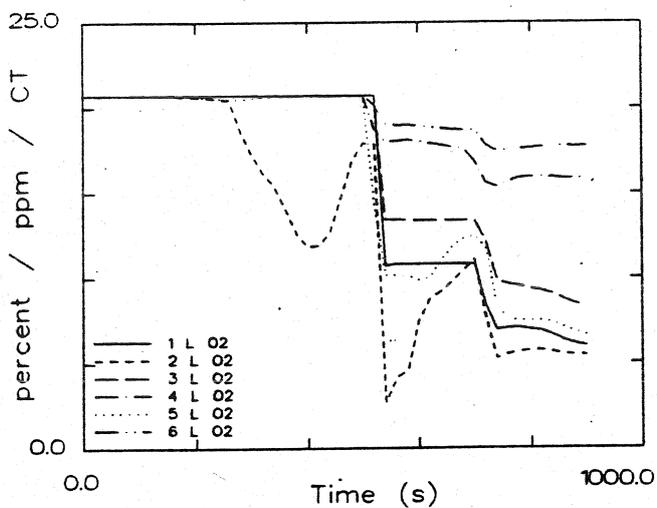
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



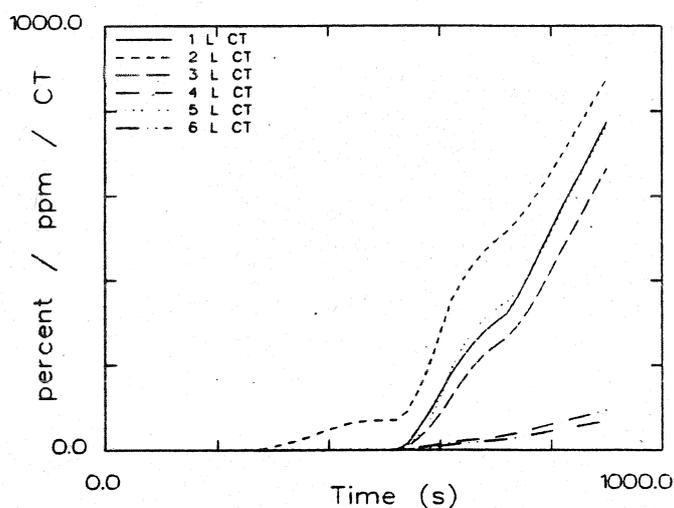
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

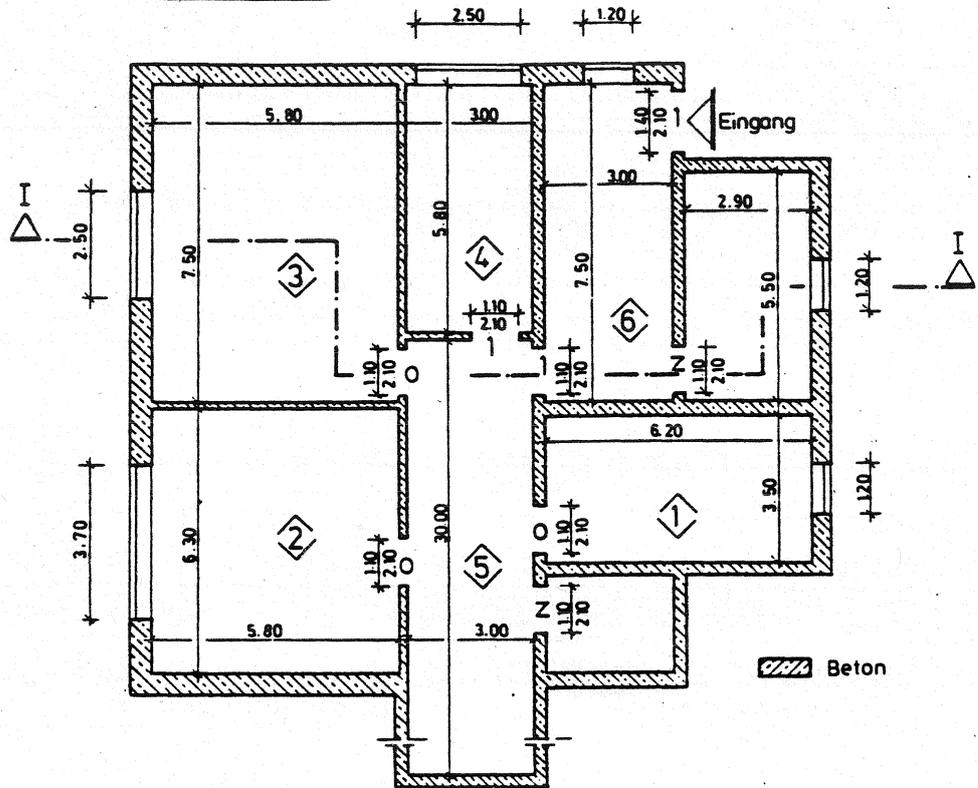


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

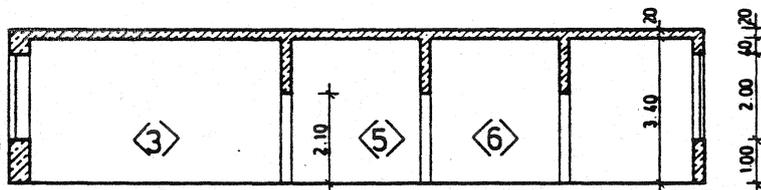
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR1A

Grundriß 2



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

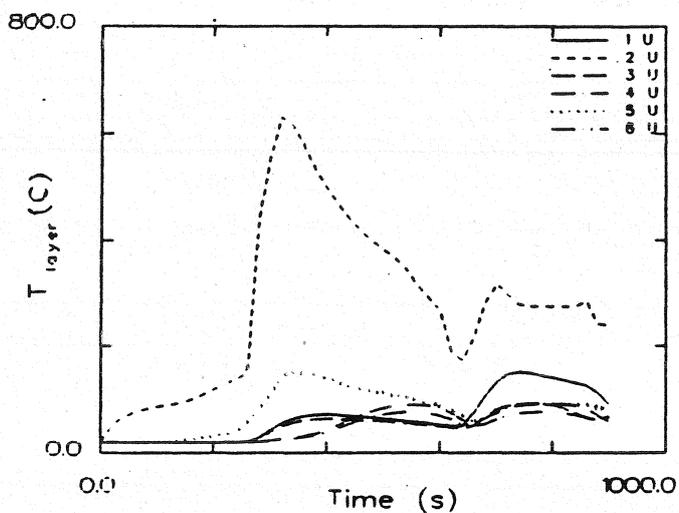
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

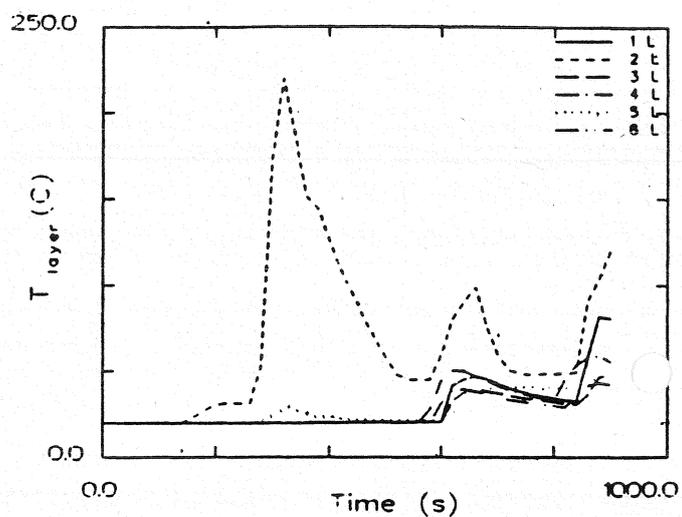
VERSN 13 Scenario 3, Haar ein Geschoss, Fall 1 HAAR1A
TIMES 900 50 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 273. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH 6.20 6.30 7.50 5.80 30.00 7.50
DEPTH 3.50 5.80 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40
HVENT 1 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 6 7 2 1.40 2.10 0.00 0.00
CVENT 1 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 3 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 4 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT 6 7 2 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 8
FTIME 260. 20. 20. 60. 70. 120. 180. 770.
FMASS 0.0000 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.0410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
FQDOT 0.00 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06 6.81E+06 2.21E+06 7.42E+05
.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR1A.DMP

```

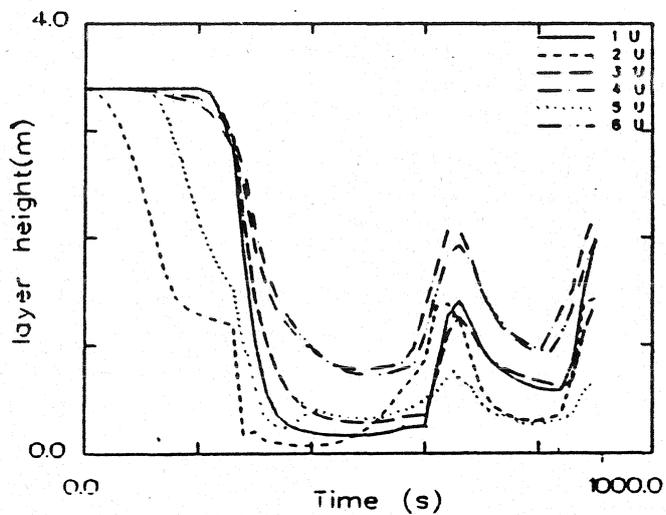
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



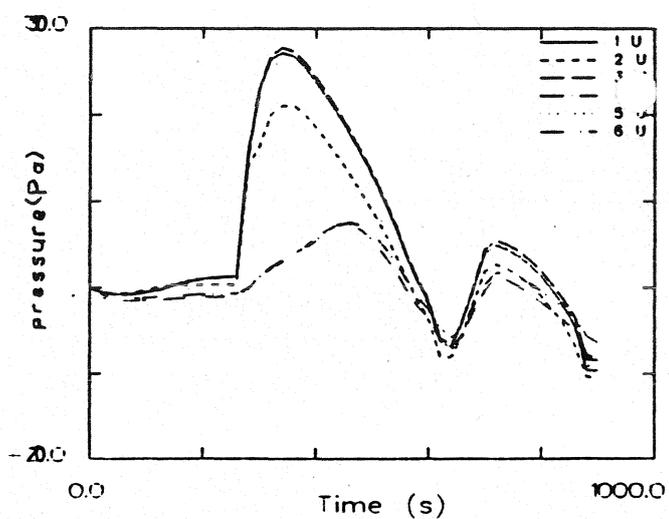
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

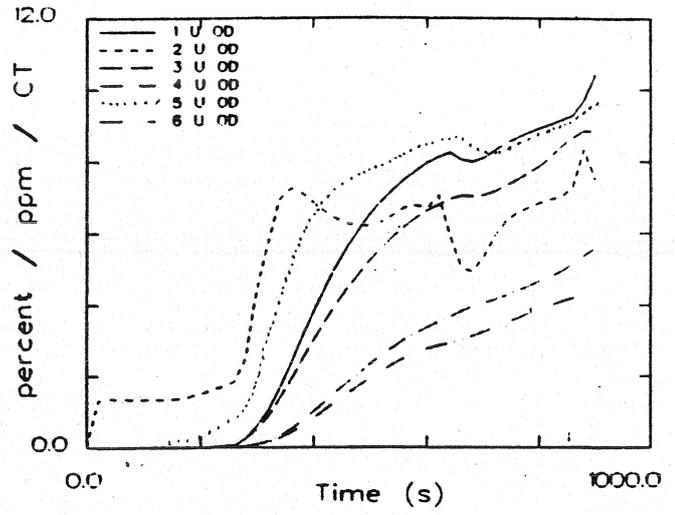
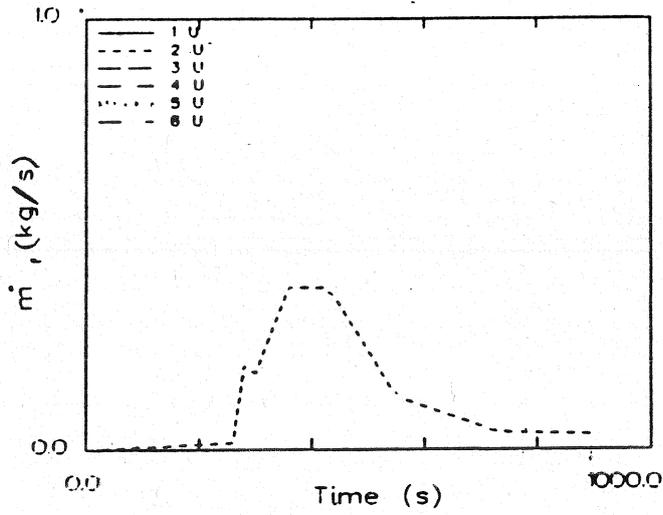


Dicke der rauchfreien Schicht



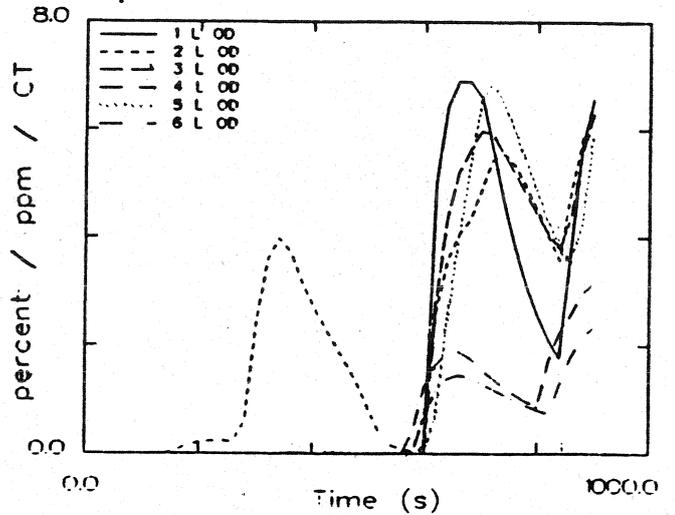
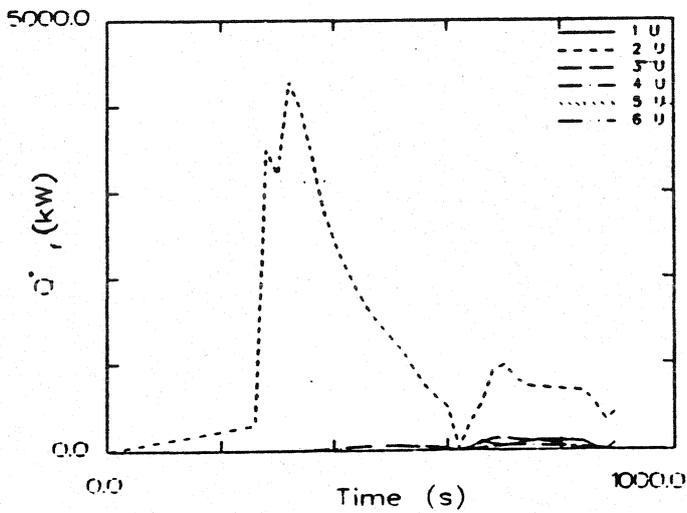
Druckänderung am Fußboden

Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

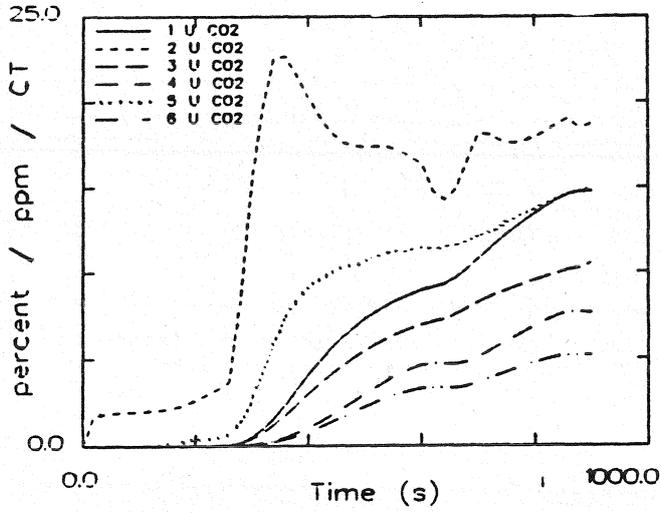
Optische Rauchdichte obere Schicht



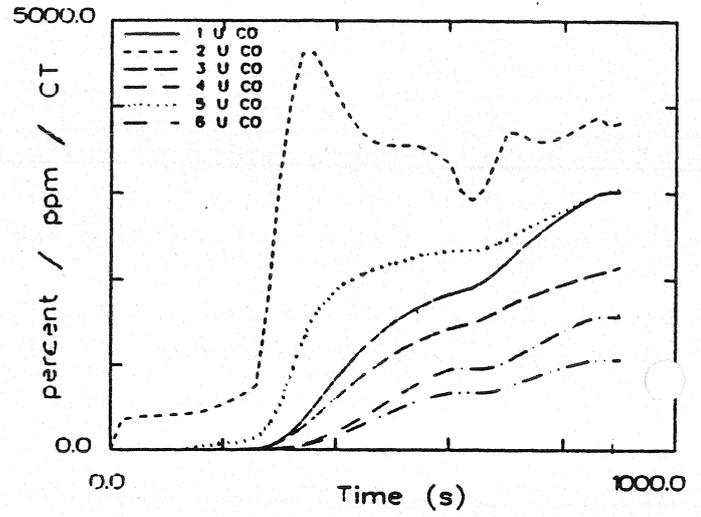
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

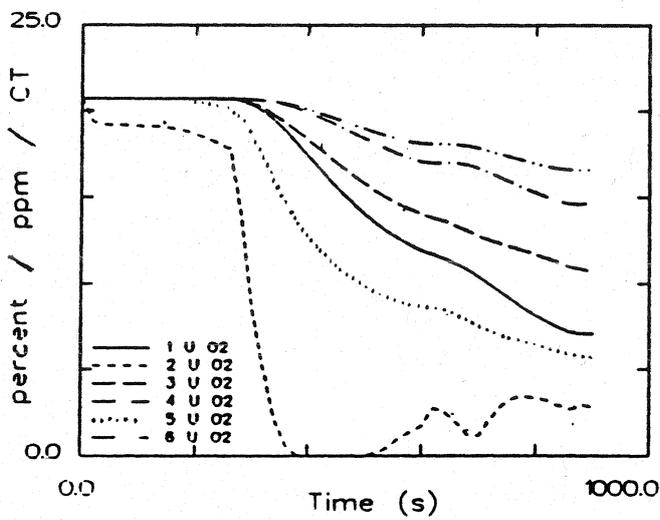
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



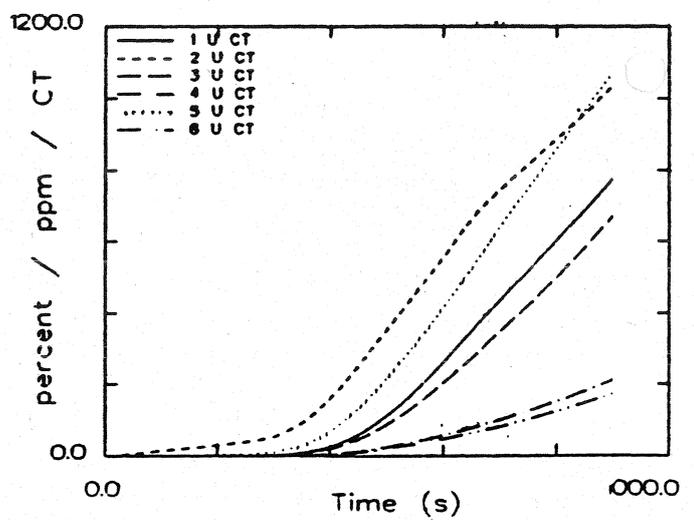
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

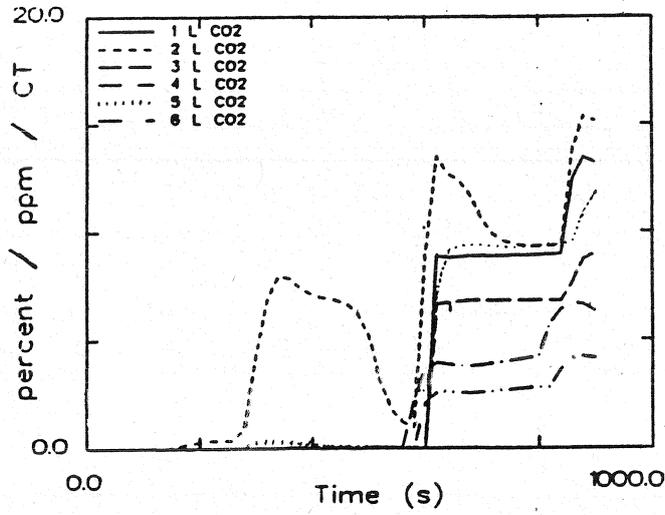


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

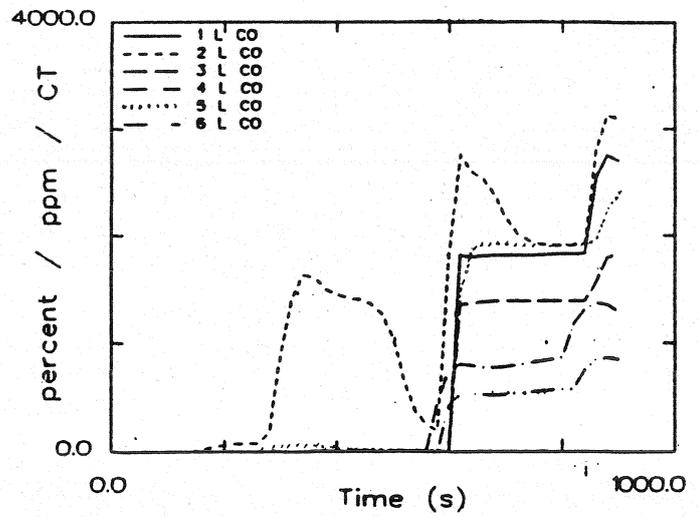


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

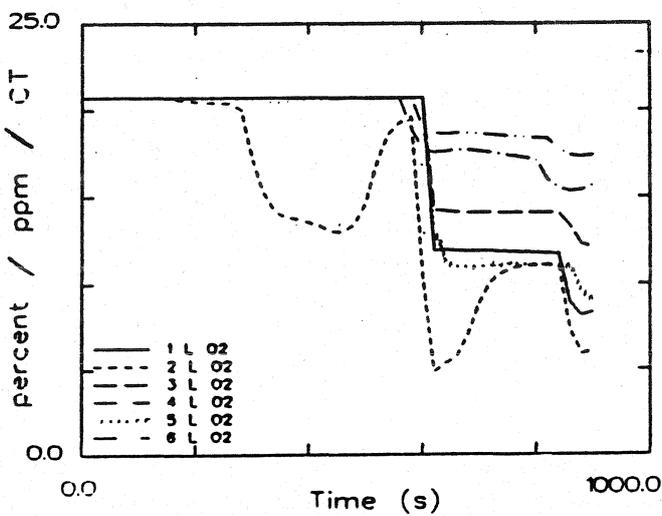
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



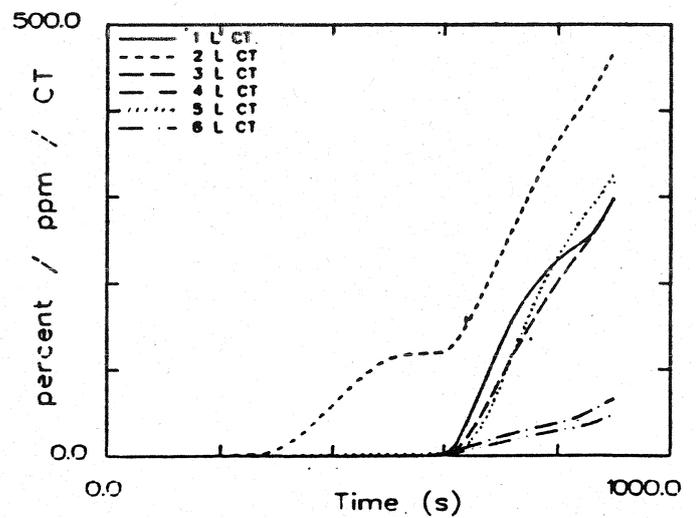
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

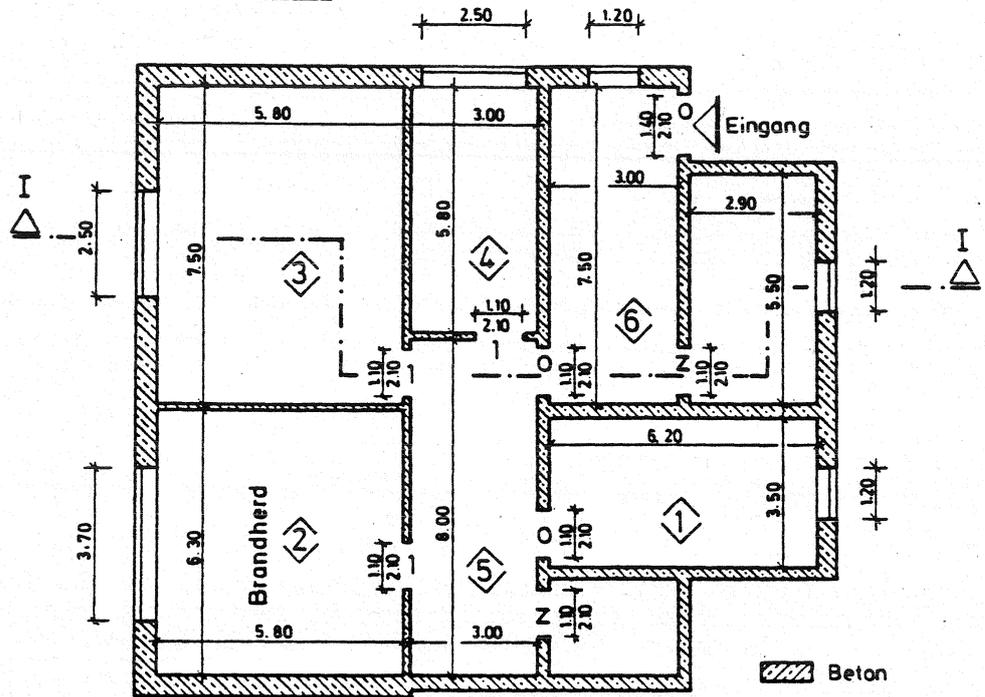


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

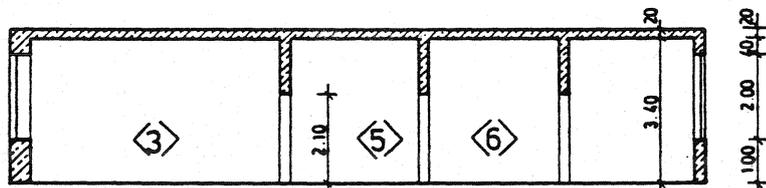
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR2

Grundriß 1



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

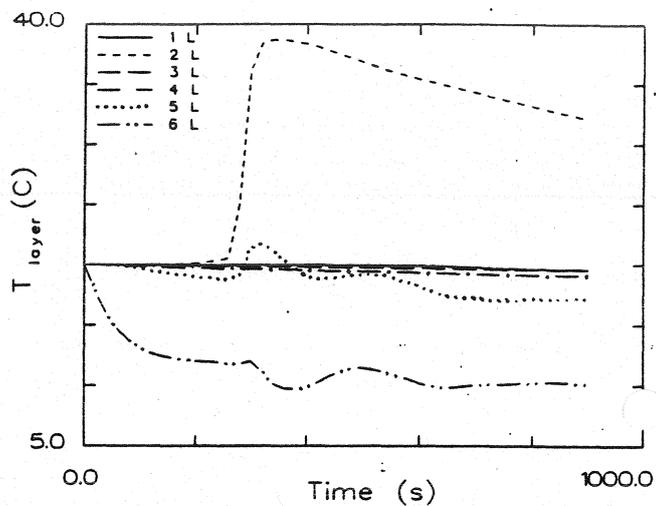
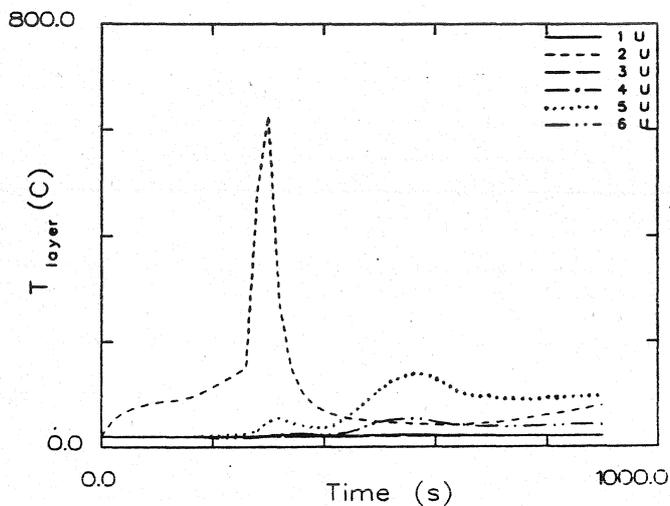
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

VERSN      13      Scenario 3, Haar ein Geschoss, Fall 2, Flaming Matt
TIMES      900 50 20 0 0
TAMB      293. 101300. 0.
EAMB      273. 101300. 0.
HI/F      0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH     6.20 6.30 7.50 5.80 8.00 7.50
DEPTH     3.50 5.80 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH     3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40
HVENT     1 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT     1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT     2 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT     3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT     3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT     4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT     5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT     6 7 2 1.40 2.10 0.00 0.00
CVENT     1 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT     1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     2 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     2 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     3 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     4 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     5 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CVENT     6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
CVENT     6 7 2 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI      0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFBO      2
LFBT      2
LFPOS     1
LFMAX     8
FTIME     260. 20. 20. 60. 70. 120. 180. 770.
FMASS     0.0000 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.0410 0.0165
FHIGH     0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
FAREA     0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
FQDOT     0.00 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06 6.81E+06 2.21E+06 7.42E+05
          .99E+05
CT        1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR       0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO        0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD        0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR2.DMP

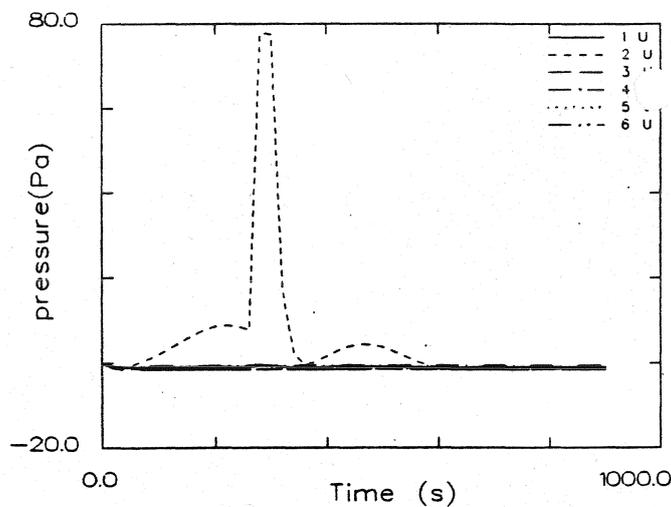
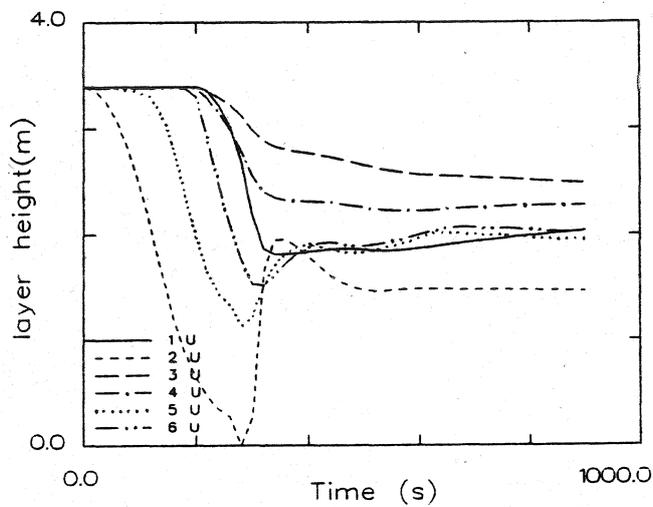
```

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Temperatur der Heißgasschicht

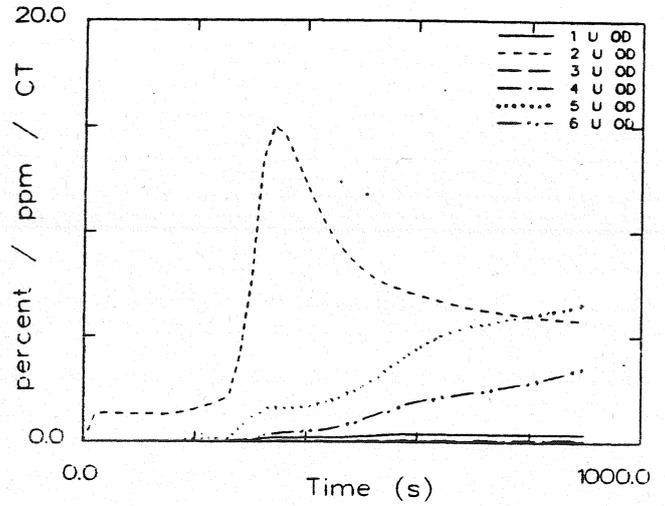
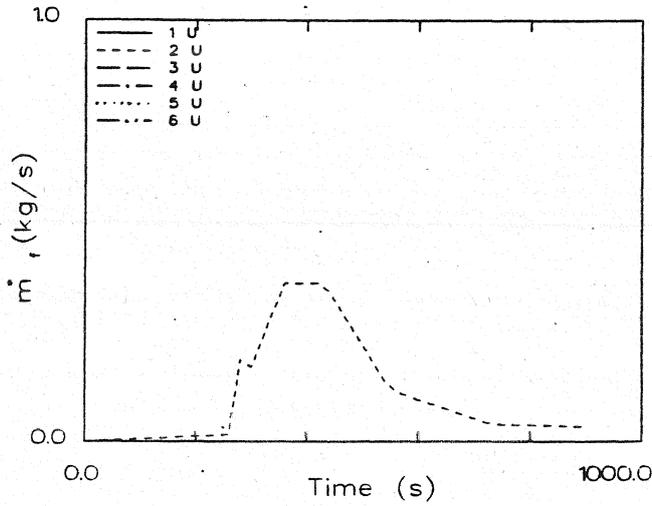
Temperatur der unteren Schicht



Dicke der rauchfreien Schicht

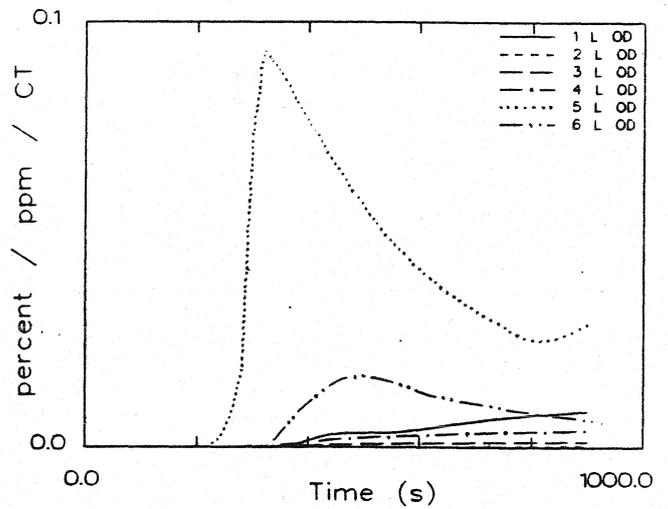
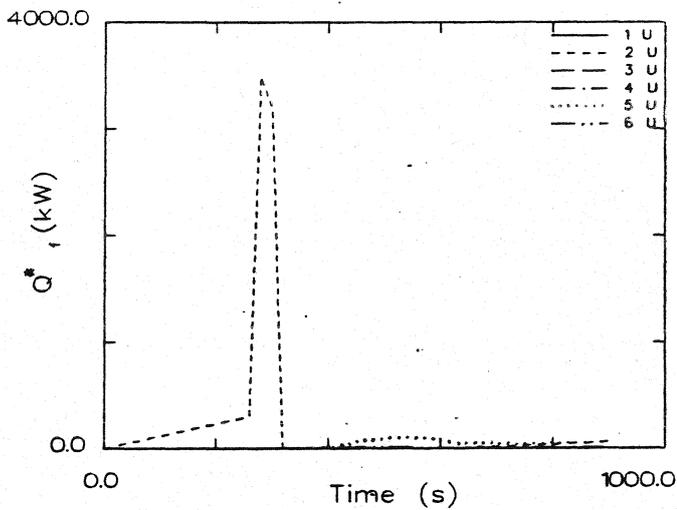
Druckänderung am Fußboden

# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

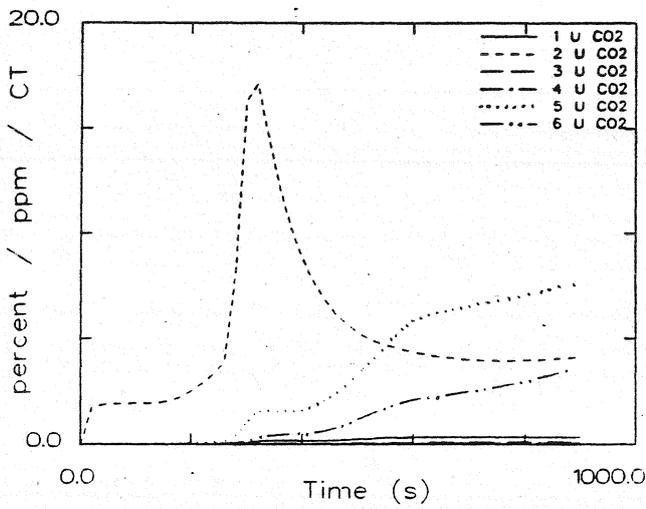
Optische Rauchdichte obere Schicht



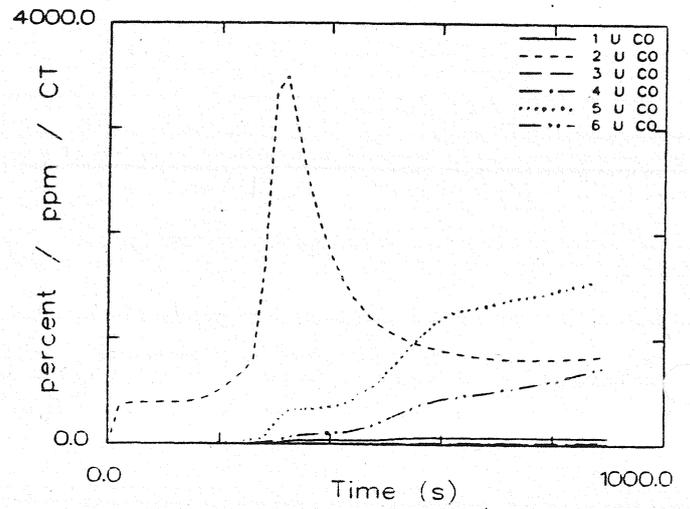
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

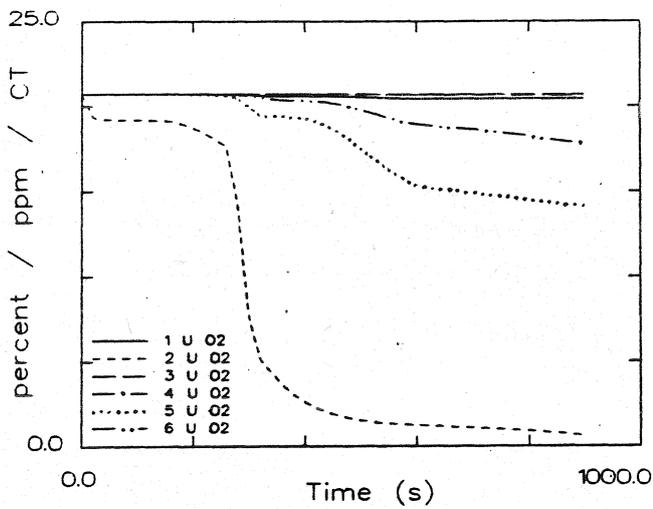
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



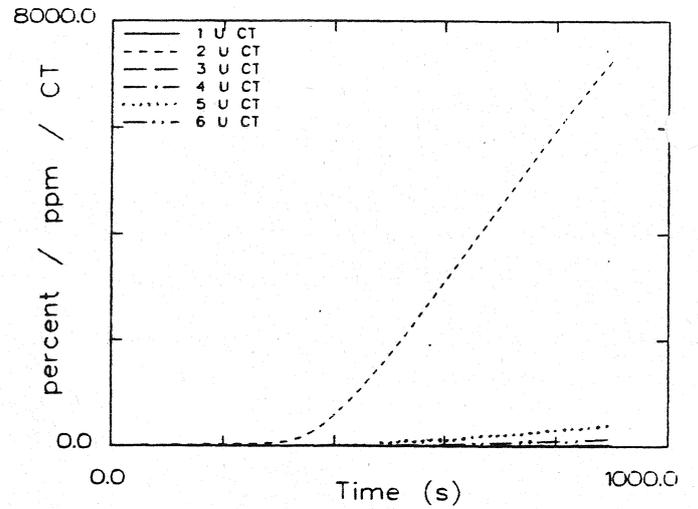
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

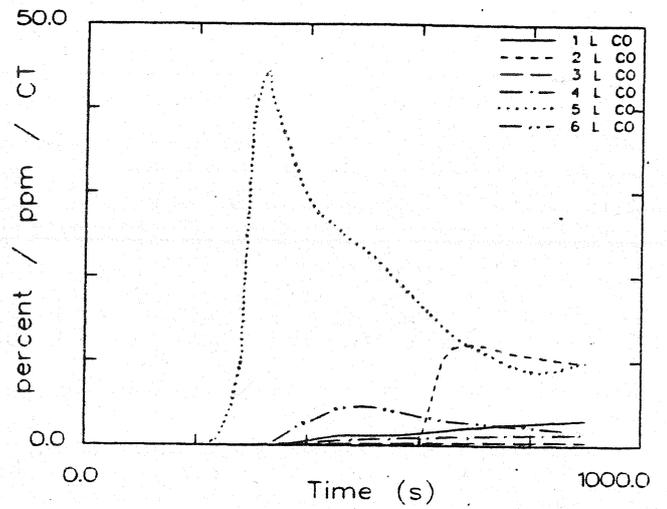
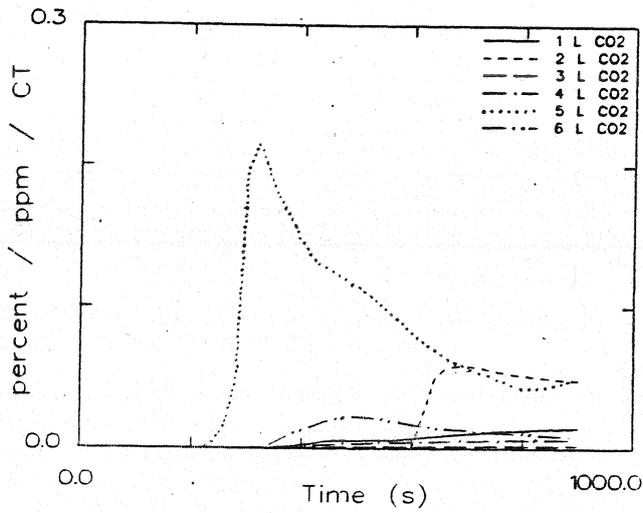


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



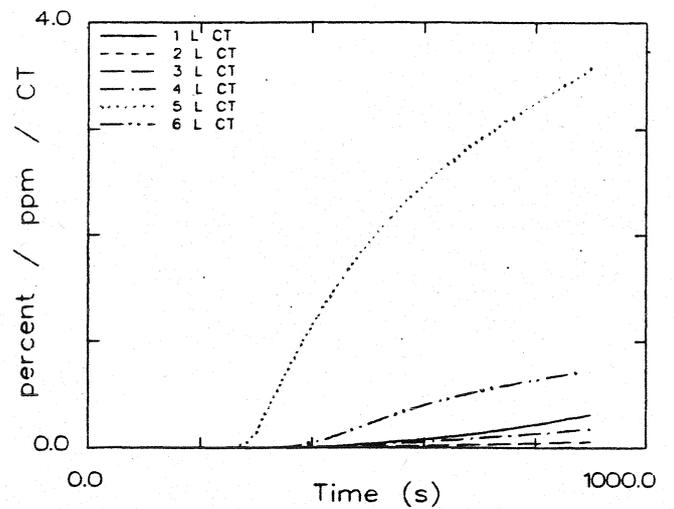
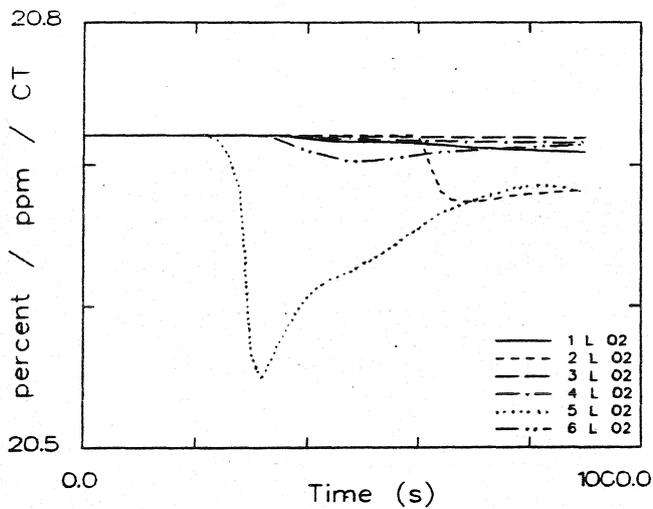
Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

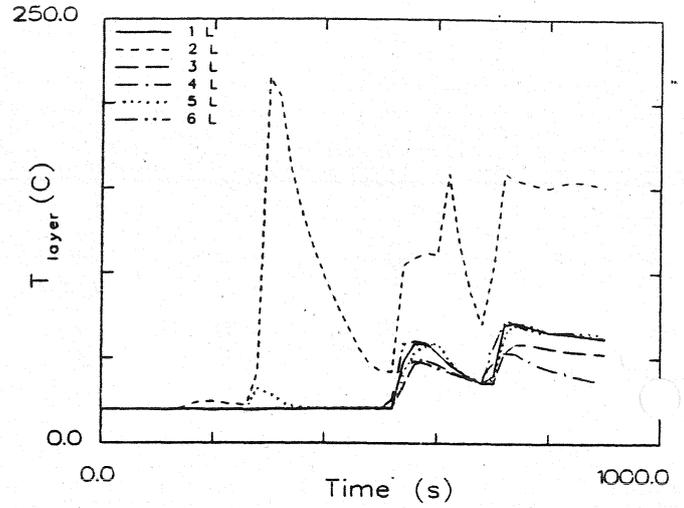
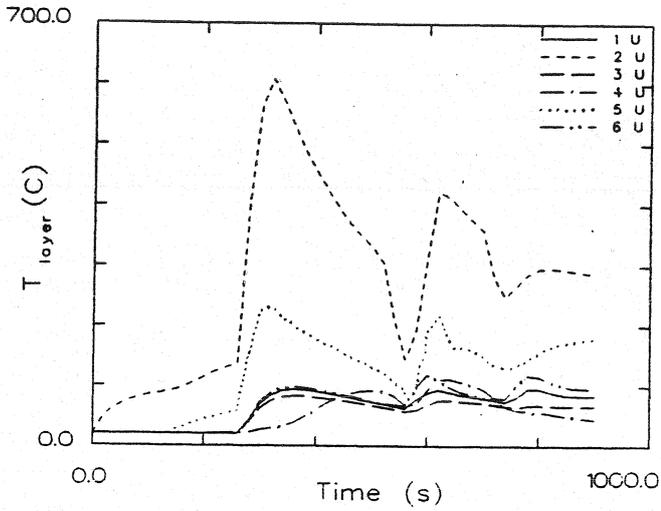
Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht



Datensatz für Berechnungen mit FAST

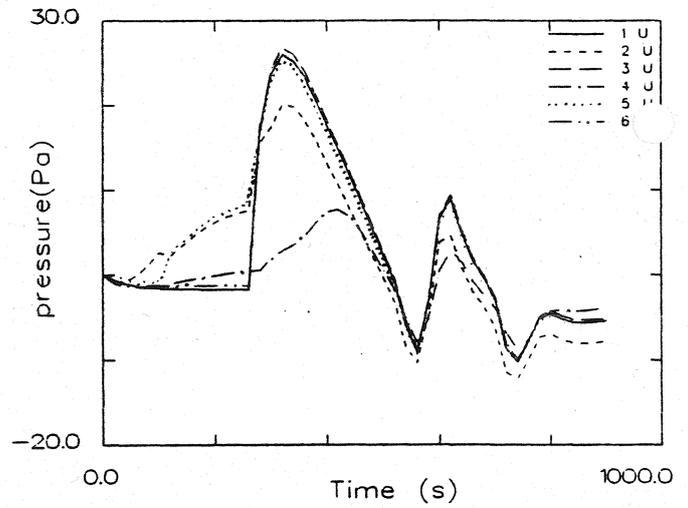
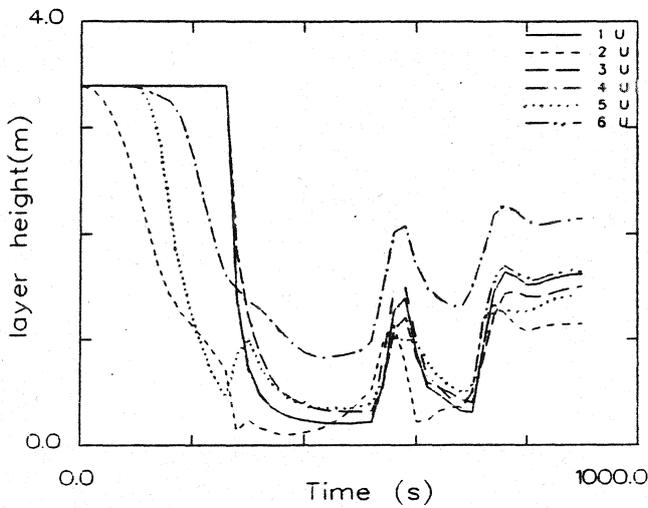
WERSH 13 Scenario 3, Haar ein Geschoss, Fall 3 zuerst alle Türen zu  
 TIMES 900 50 20 0 0  
 TAMB 293. 101300. 0.  
 EAMS 273. 101300. 0.  
 HEIF 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00  
 WIDTH 6.20 6.30 7.50 5.80 8.00 7.50  
 DEPTH 3.50 5.30 5.90 3.00 3.00 3.00  
 HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40  
 HVENT 1 5 1 1.10 2.00 0.00  
 HVENT 1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00  
 HVENT 2 5 1 1.10 2.10 0.00  
 HVENT 2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00  
 HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00  
 HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00  
 HVENT 4 5 1 1.10 2.10 0.00  
 HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00  
 HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00  
 HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00  
 HVENT 6 7 2 1.40 2.10 0.00 0.00  
 CVENT 1 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00  
 1.00 1.00 1.00  
 CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 2 5 1 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00  
 1.00 1.00 1.00  
 CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 3 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00  
 1.00 1.00 1.00  
 CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 4 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 5 6 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00  
 1.00 1.00 1.00  
 CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CVENT 6 7 2 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01  
 0.01 0.01 0.01  
 CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE  
 WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE  
 FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE  
 CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.  
 LFBO 2  
 LFBT 2  
 LFPOS 1  
 LFMAX 11  
 FTIME 100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.  
 70.  
 FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.  
 410 0.3165  
 FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00  
 .00 0.00  
 FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50  
 .50 0.50  
 FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.00E+06 5.31E+06  
 .31E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05  
 CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000  
 HCF 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030  
 TO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013  
 CD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013  
 DWMPR HAARS DMP

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Temperatur der Heißgasschicht

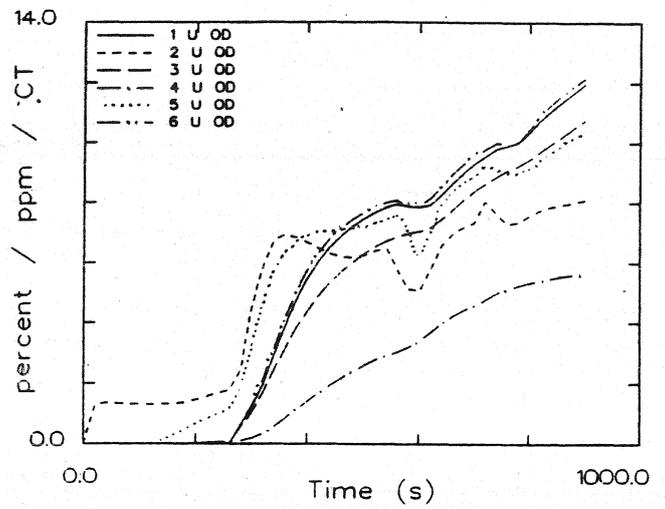
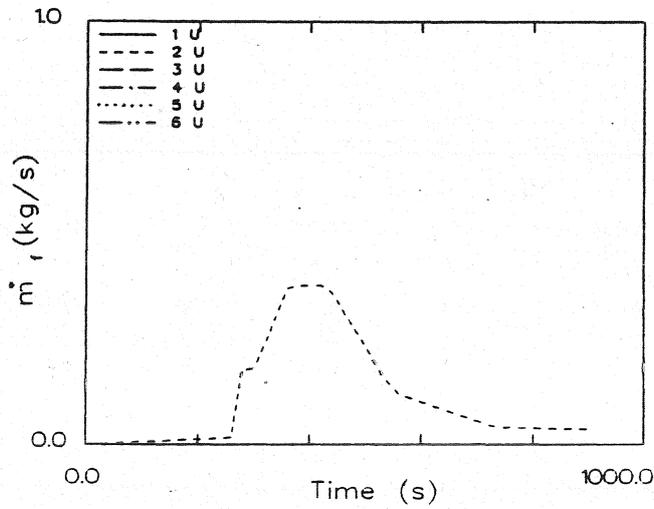
Temperatur der unteren Schicht



Dicke der rauchfreien Schicht

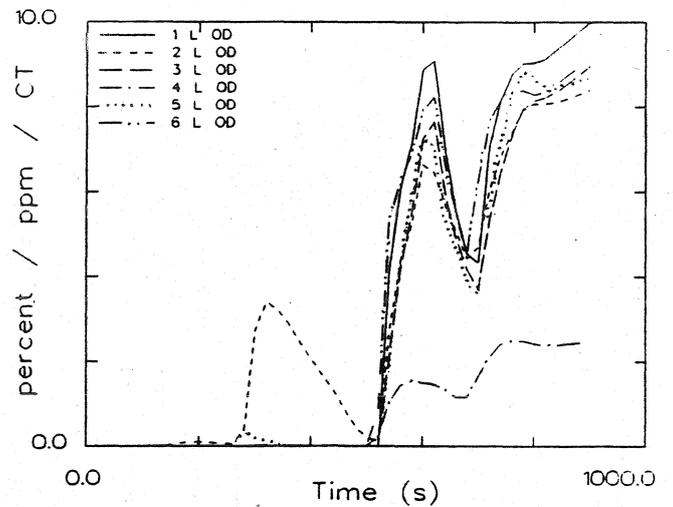
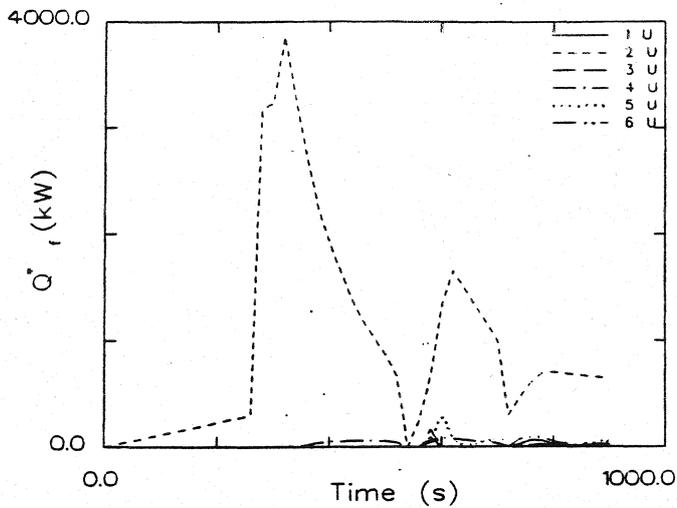
Druckänderung am Fußboden

# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

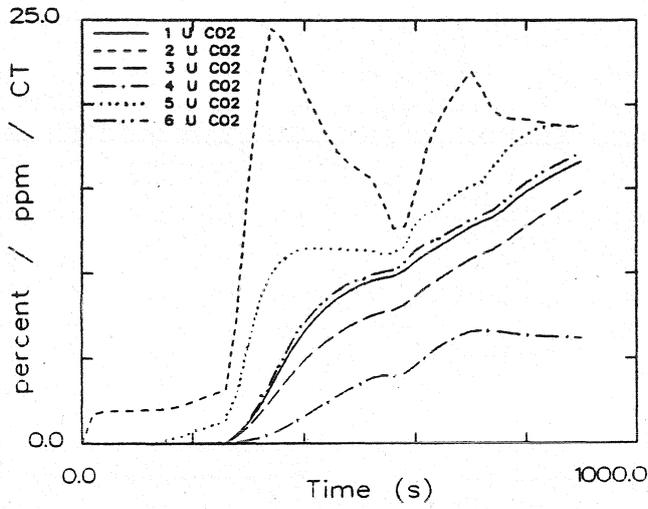
Optische Rauchdichte obere Schicht



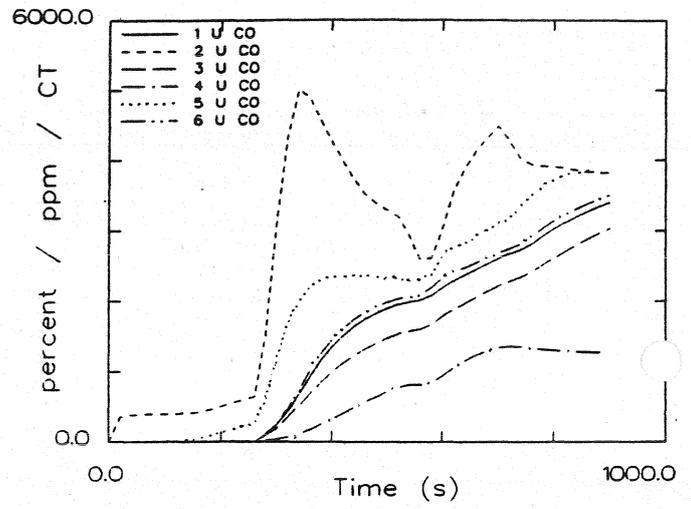
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

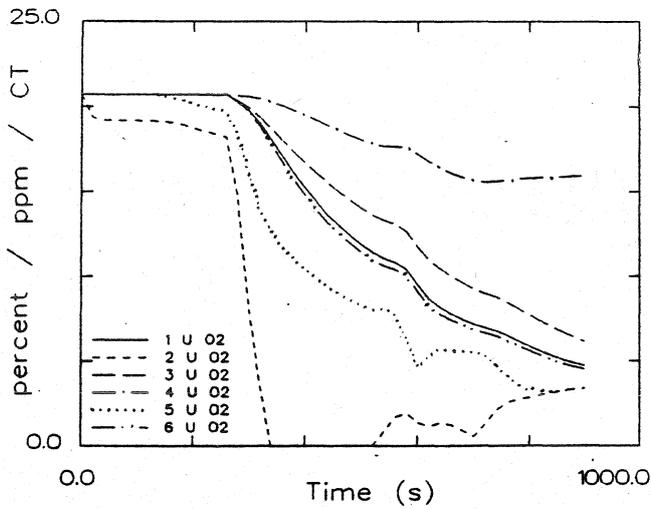
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



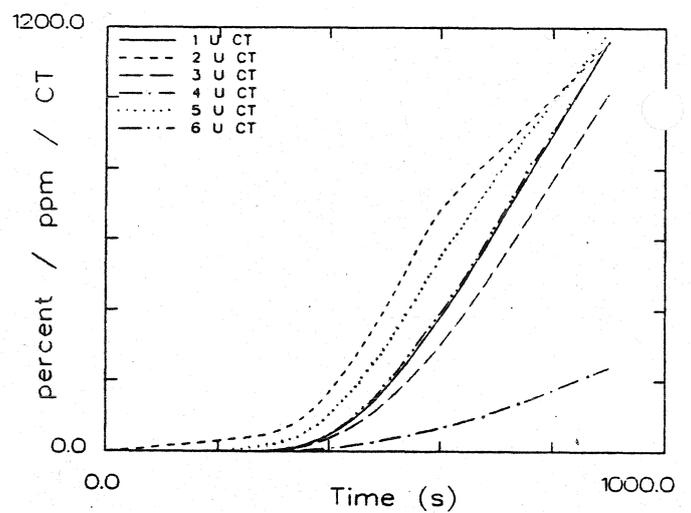
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

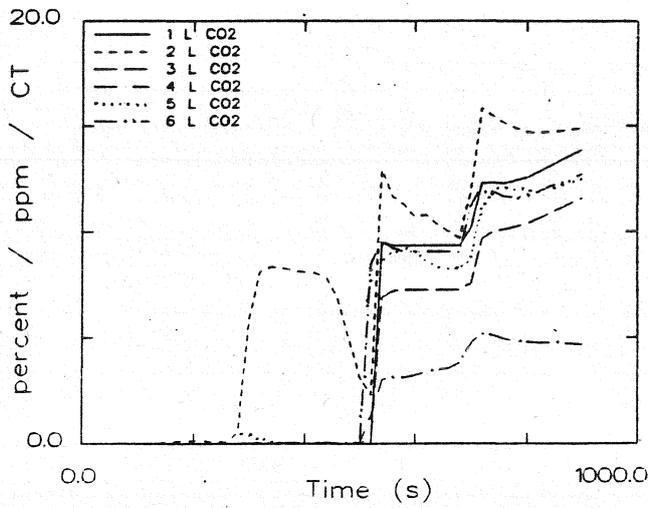


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

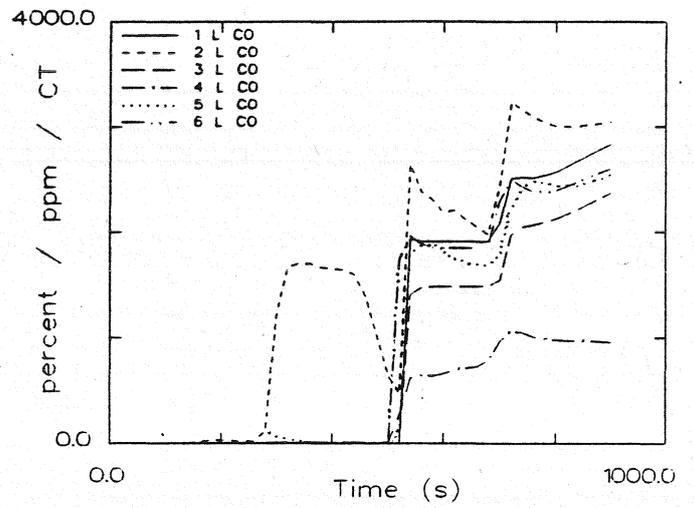


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

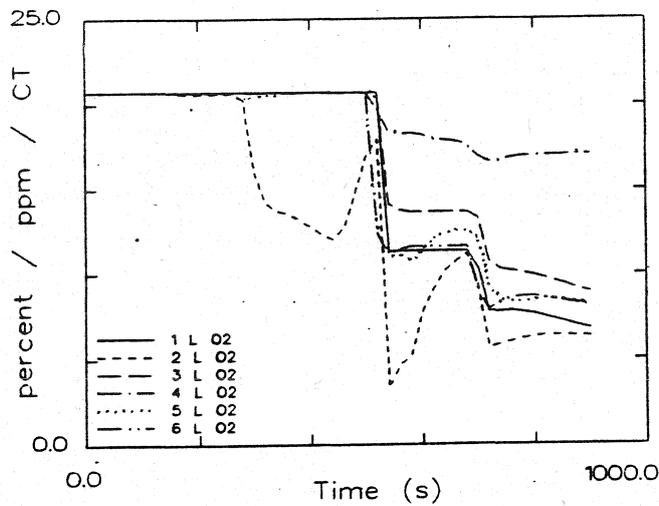
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



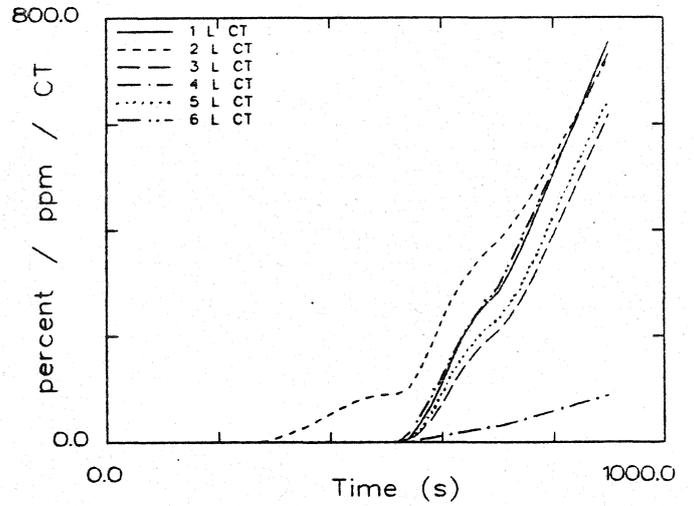
**CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**CO - Konzentration untere Schicht**



**O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**

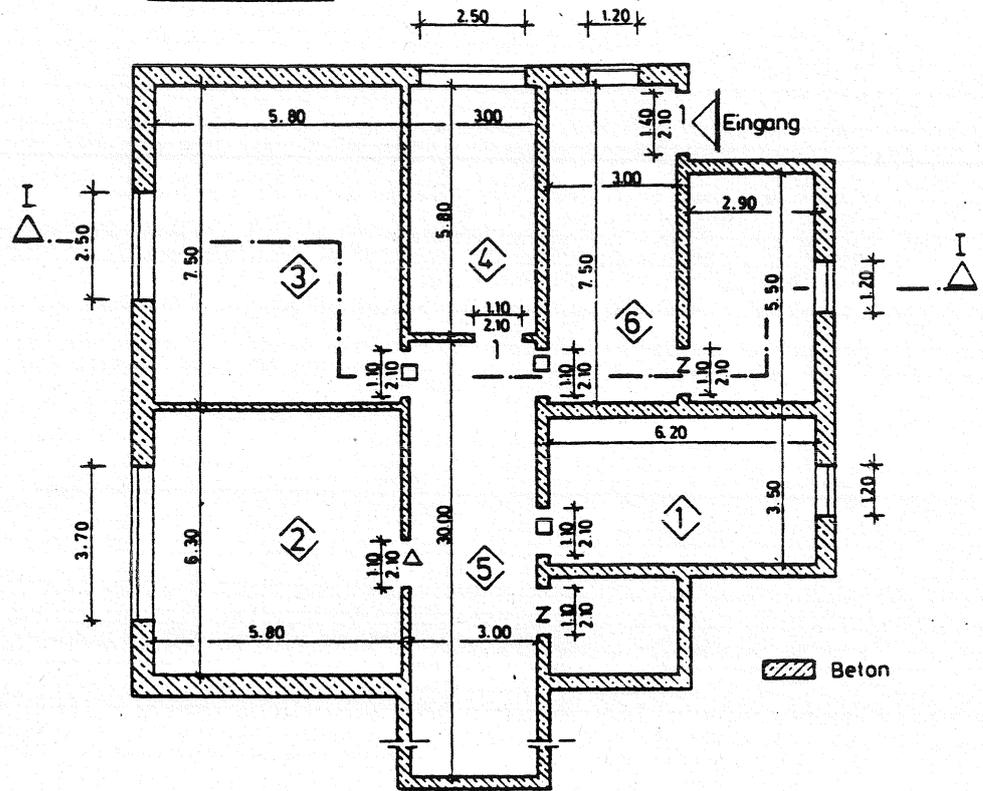


**Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht**

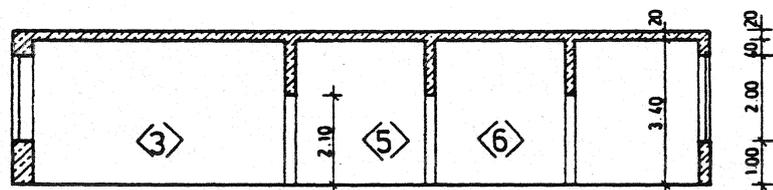
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR3A

Grundriß 2



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- Δ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

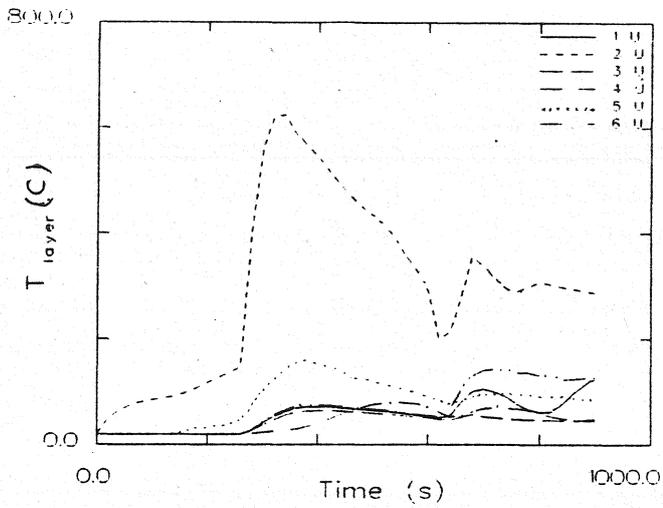
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

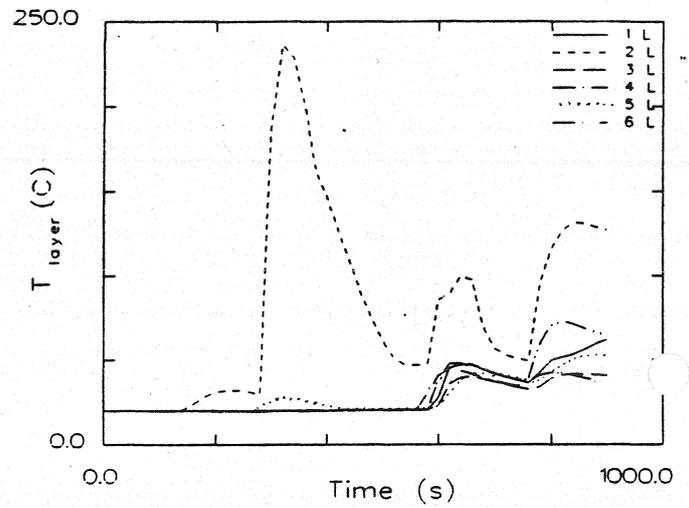
VERSN      18      Scenario 3, Haar ein Geschoss, Fall 3a zuerst alle Türe zu
TIMES      900    50 20 0 0
TAMB      293.   101300. 0.
EAMB      273.   101300. 0.
HI/F      0.00    0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH     6.20    6.30 7.50 5.80 30.00 7.50
DEPTH     3.50    5.80 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH     3.40    3.40 3.40 3.40 3.40 3.40
HVENT     1 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT     1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT     2 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT     3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT     3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT     4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT     5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT     6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT     6 7 2 1.40 2.10 0.00 0.00
CVENT     1 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT     1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     2 5 1 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT     2 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     3 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT     3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     4 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     5 6 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT     6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT     6 7 2 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 1810000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.31E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR3A.DMP

```

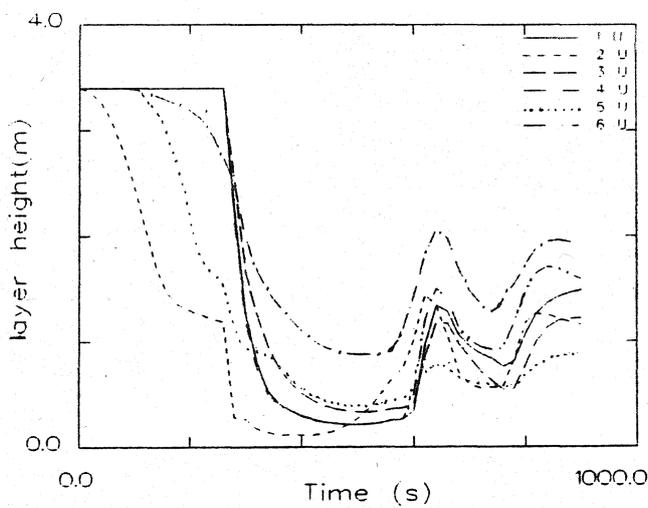
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



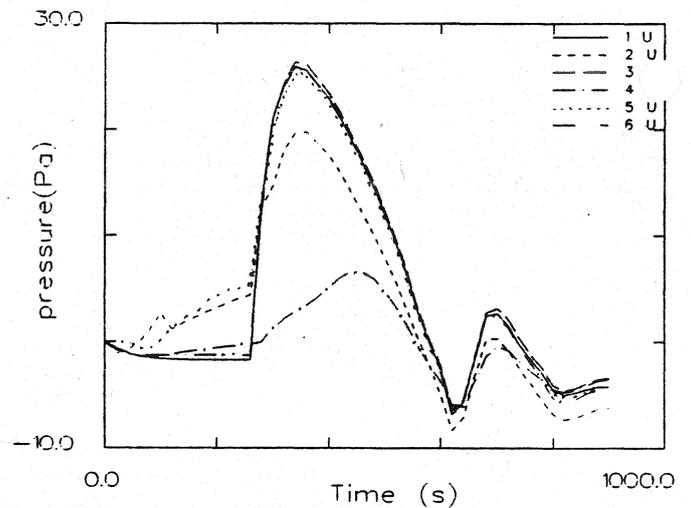
**Temperatur der Heißgasschicht**



**Temperatur der unteren Schicht**

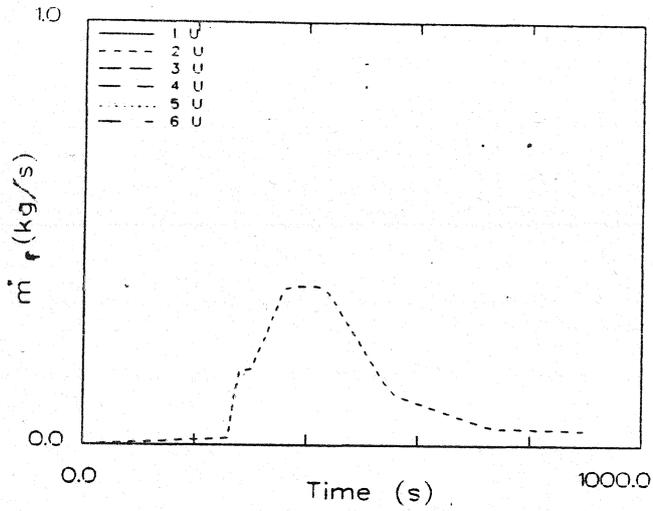


**Dicke der rauchfreien Schicht**

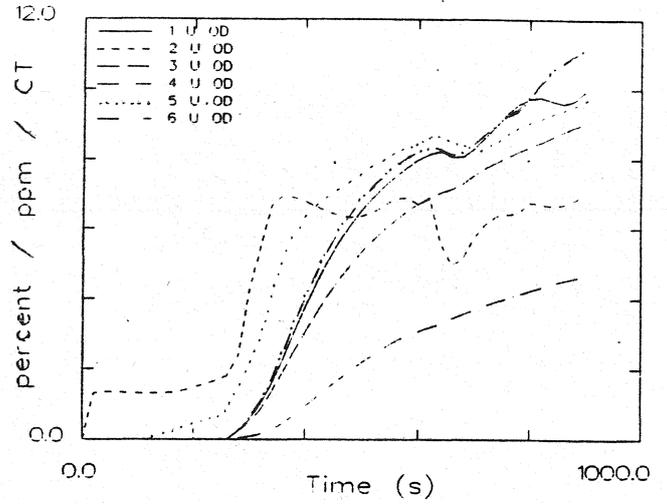


**Druckänderung am Fußboden**

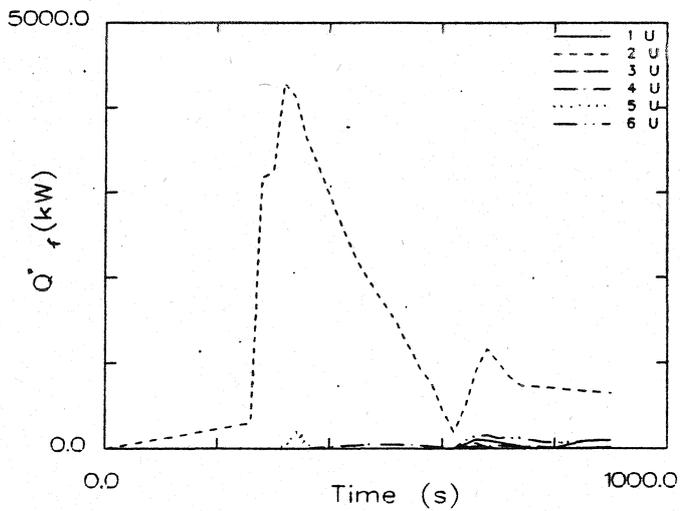
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



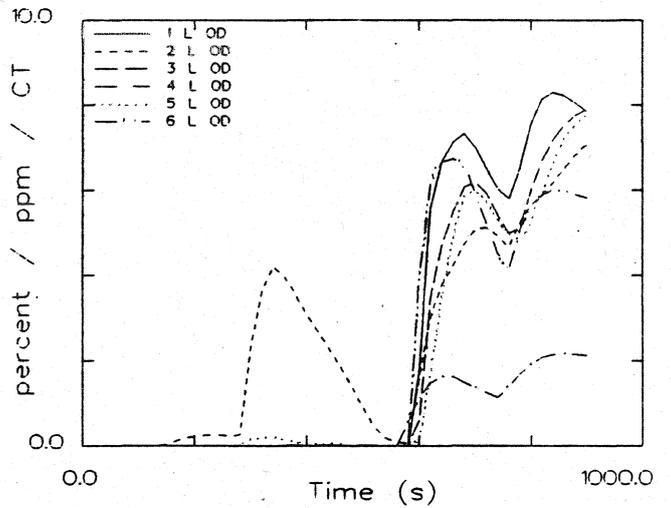
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

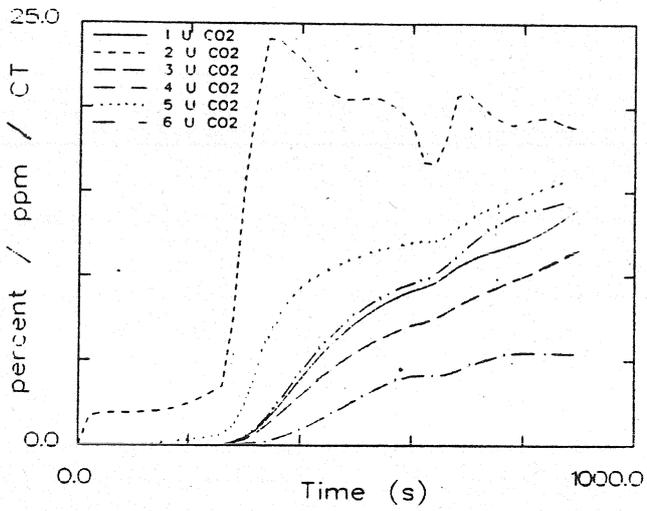


Energiefreisetzung

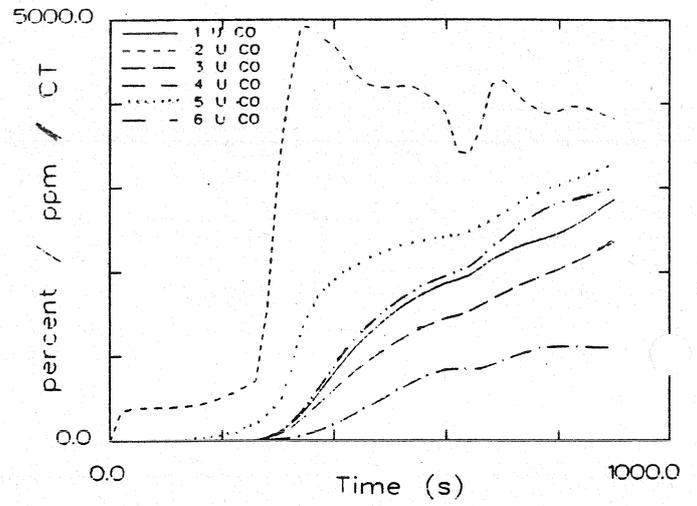


Optische Rauchdichte untere Schicht

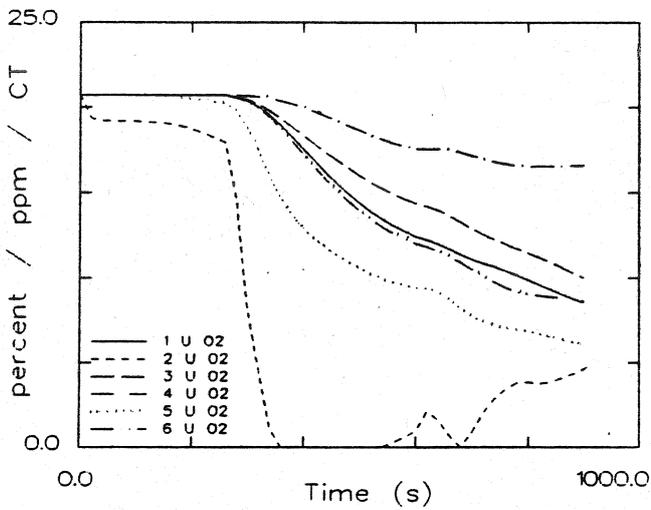
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



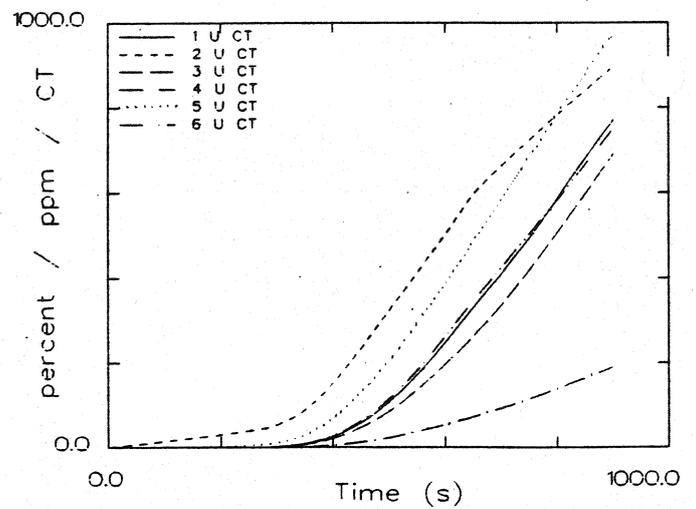
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

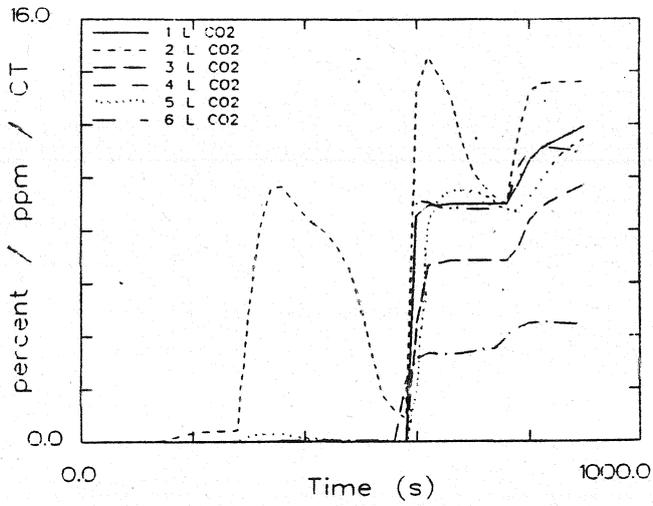


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

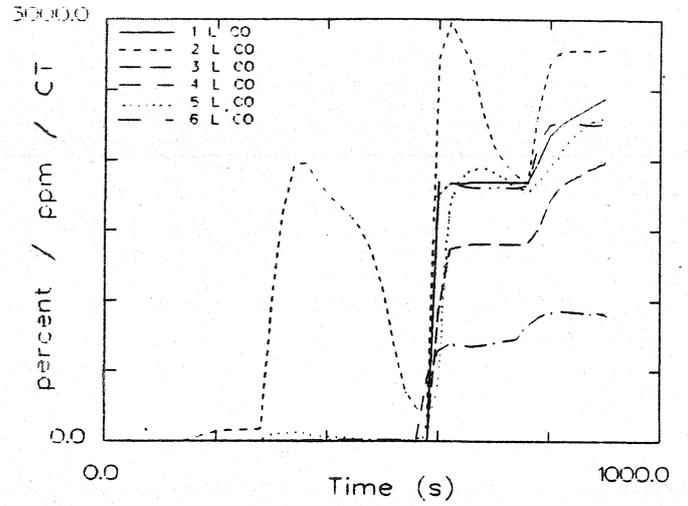


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

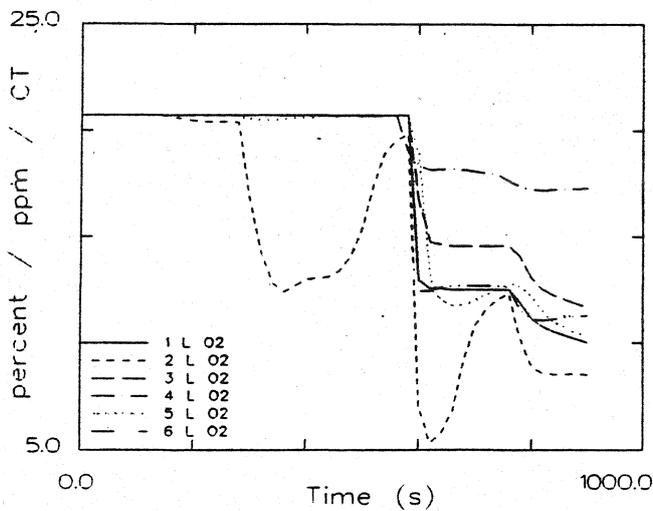
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



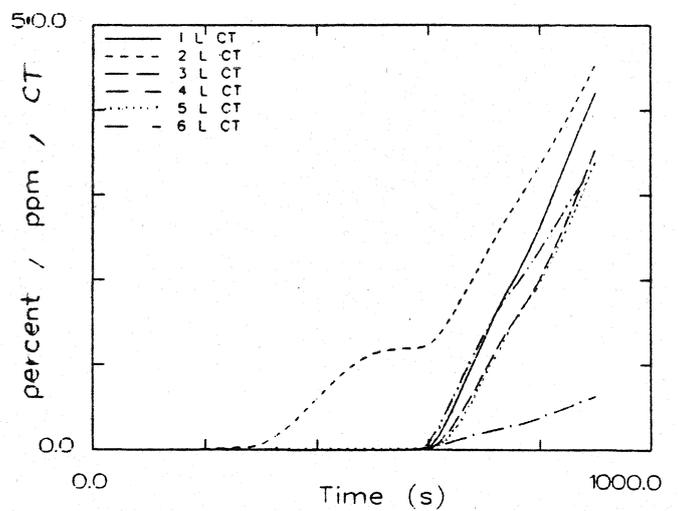
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht



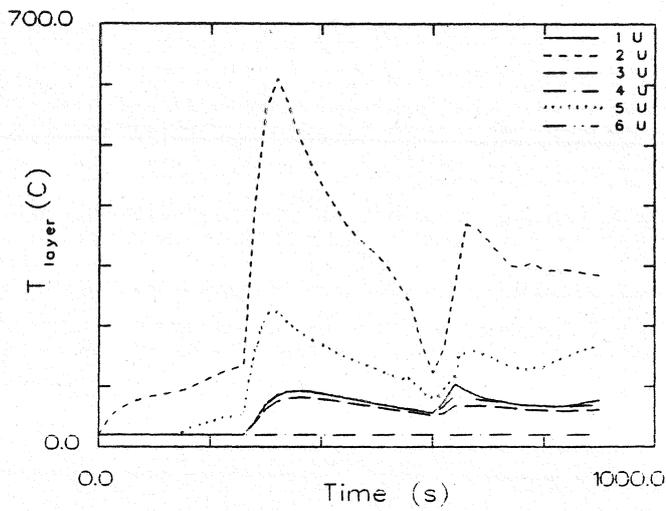
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

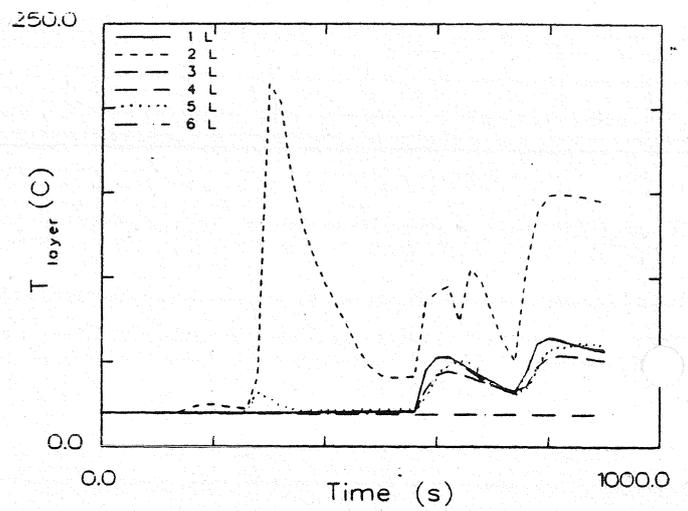
VERSN      18      Scenario 3, Haarlein Geschoss, Fall 4 zuerst alle Türe zu
TIMES      900    50    20    0    0
TAMB      293.  101300.    0.
EAMB      273.  101300.    0.
HI/F      0.00    0.90    0.00    0.00    0.00    0.00
WIDTH     6.20    6.30    7.50    5.80    8.00    7.50
DEPTH     3.50    5.80    5.90    3.00    3.00    3.00
HEIGH     3.40    3.40    3.40    3.40    3.40    3.40
HVENT     1  5  1  1.10  2.00  0.00
HVENT     1  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
HVENT     2  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     2  7  1  3.70  3.00  1.00  0.00
HVENT     3  5  1  1.00  2.10  0.00
HVENT     3  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT     4  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     4  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT     5  6  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     6  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
CVENT     1  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     1  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     2  5  1  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     2  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     3  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     3  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     4  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00  0.00  0.00
CVENT     4  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     5  6  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     6  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CELLI     CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
WALLS     CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
FLOOR     CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
CHEMI     0.      0.      6.0     18100000.  300.
LFBO      2
LFBT      2
LFPOS     1
LFMAX     11
FTIME     100.    2.     158.    2.     20.    20.    60.    70.    120.    180.
70.
FMASS     0.0000  0.0063  0.0063  0.0165  0.0165  0.1930  0.1770  0.3760  0.3760  0.1220  0.
410 0.6165
FHIGH     0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
.00  0.00
FAREA     0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50
.50  0.50
FQDOT     0.00      1.15E+05  1.15E+05  2.99E+05  2.99E+05  3.49E+06  3.20E+06  6.81E+06
.81E+06  2.21E+06  7.42E+05  2.99E+05
CT        1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000
HCR       0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030  0.030
CO        0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
CD        0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
DUMPER    HAAR4.DNR

```

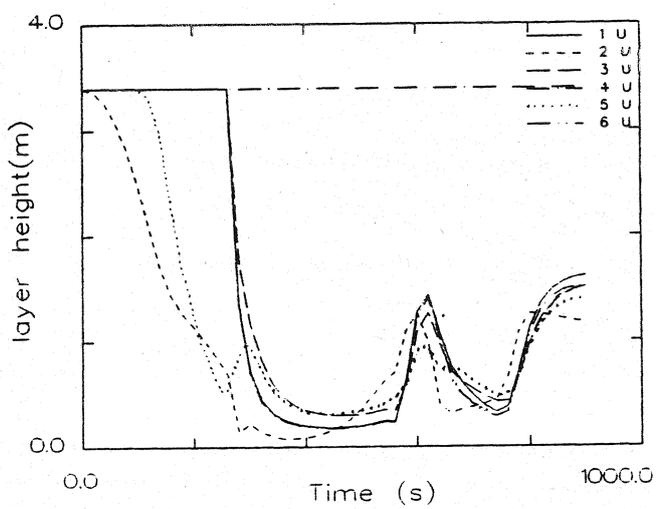
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



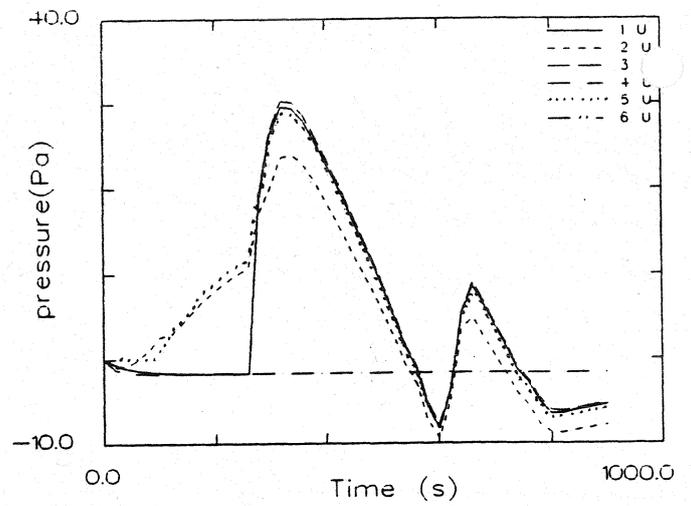
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

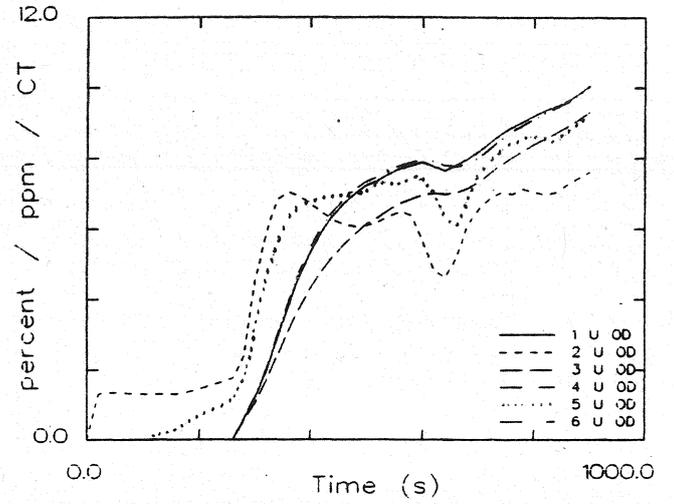
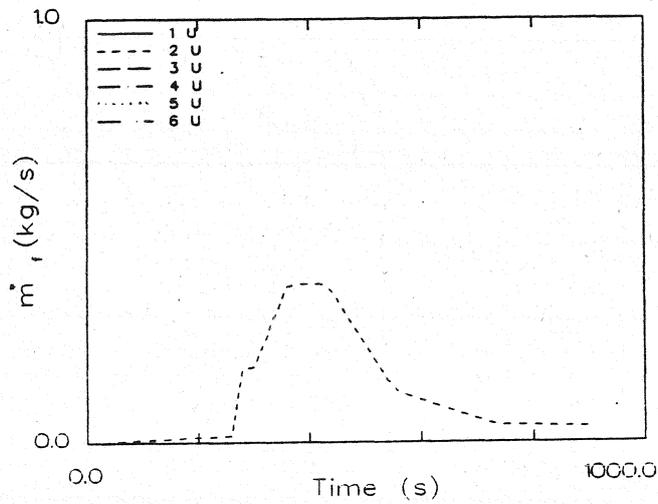


Dicke der rauchfreien Schicht



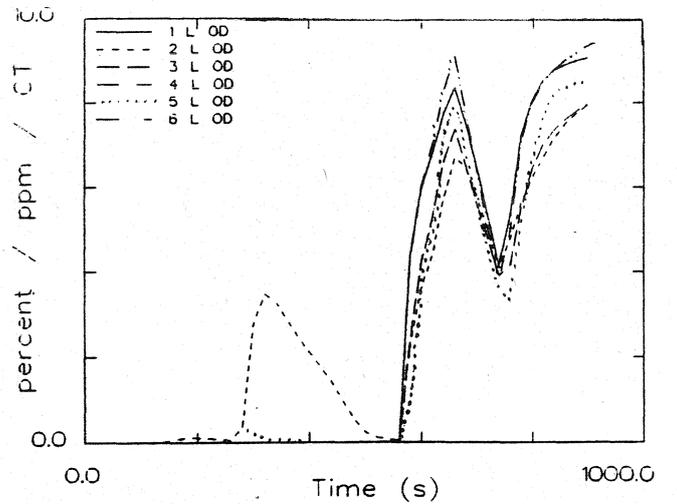
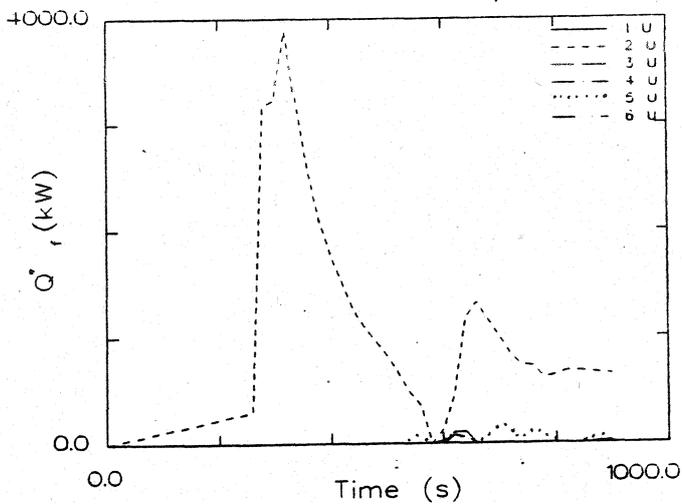
Druckänderung am Fußboden

Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

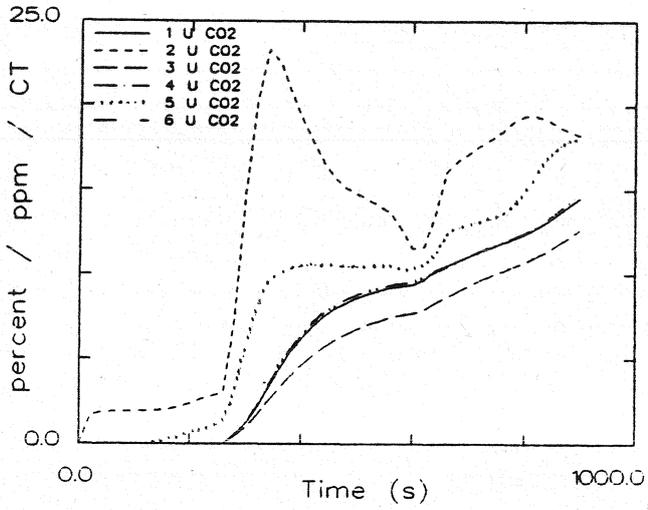
Optische Rauchdichte obere Schicht



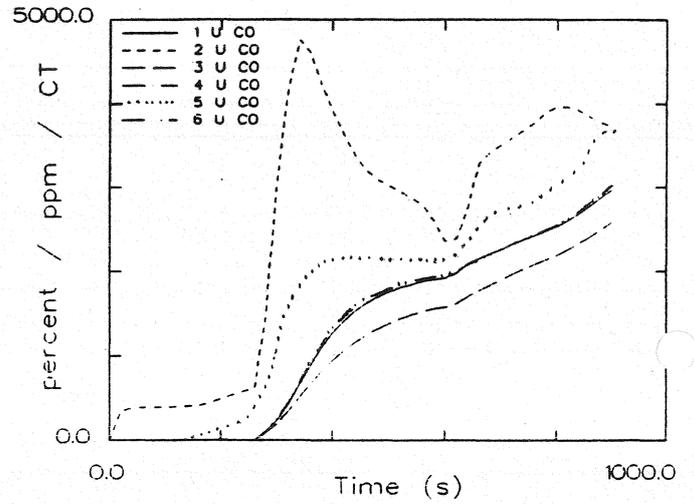
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

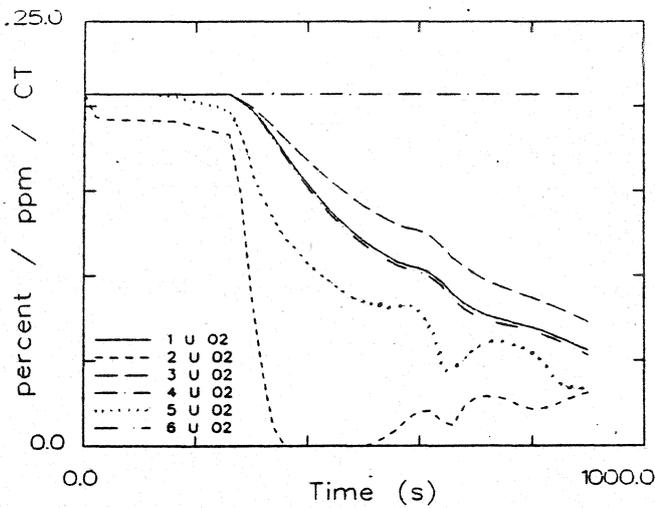
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



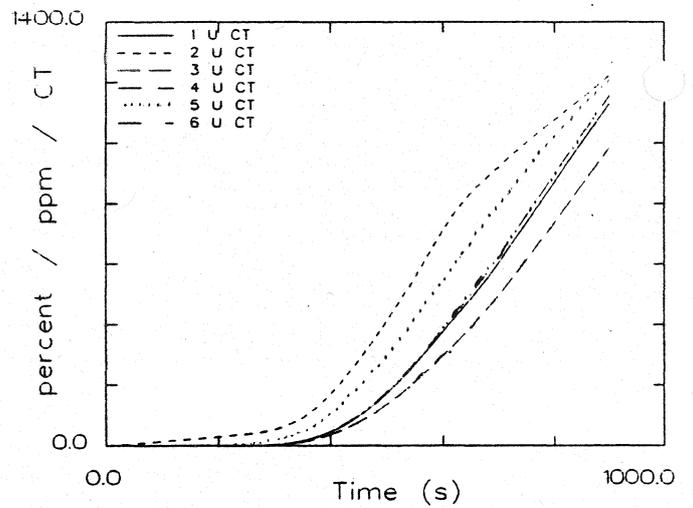
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

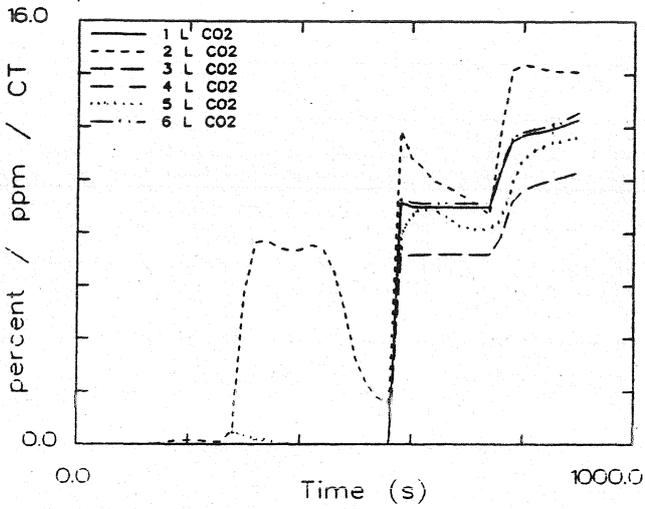


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

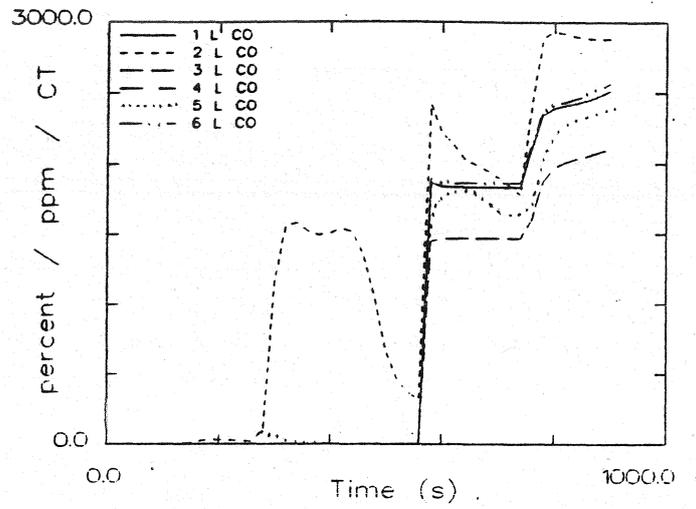


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

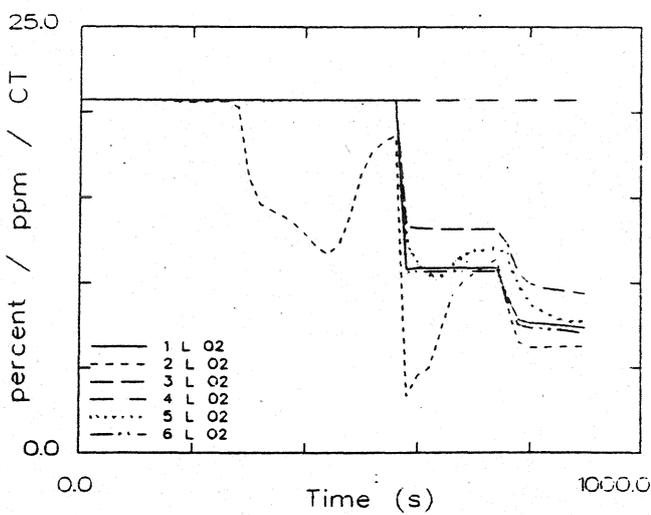
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



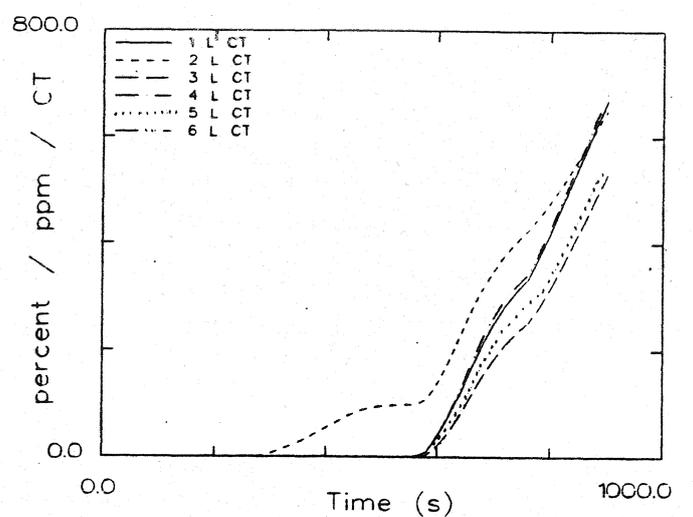
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

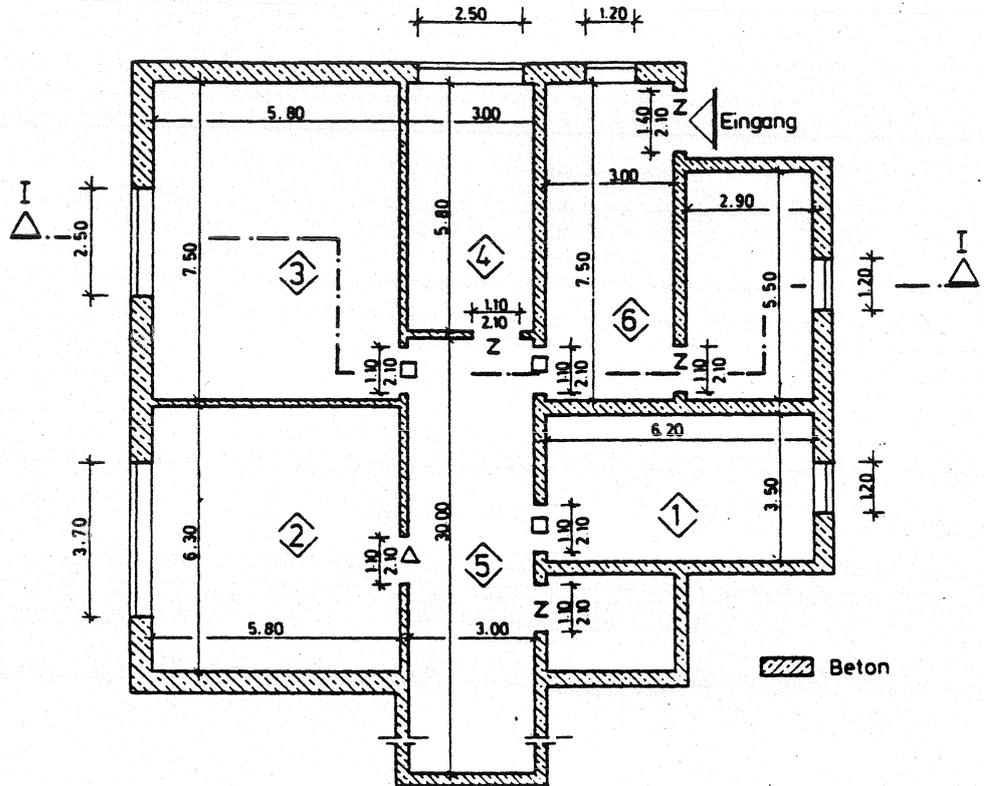


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

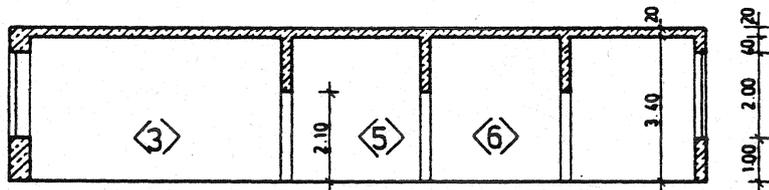
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR4A

Grundriß 2



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

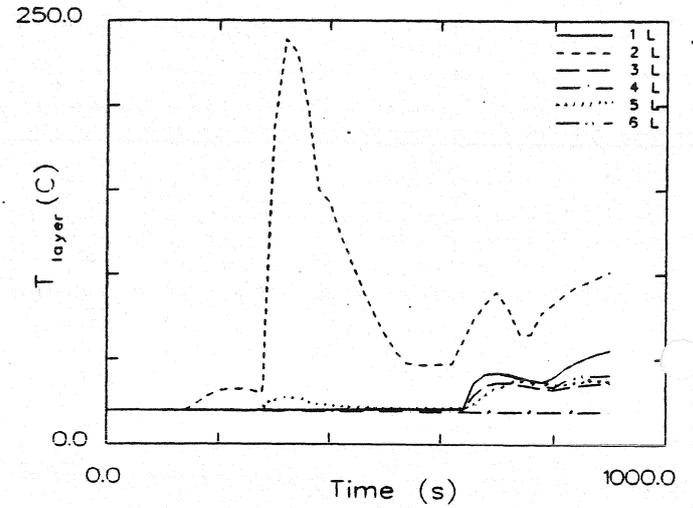
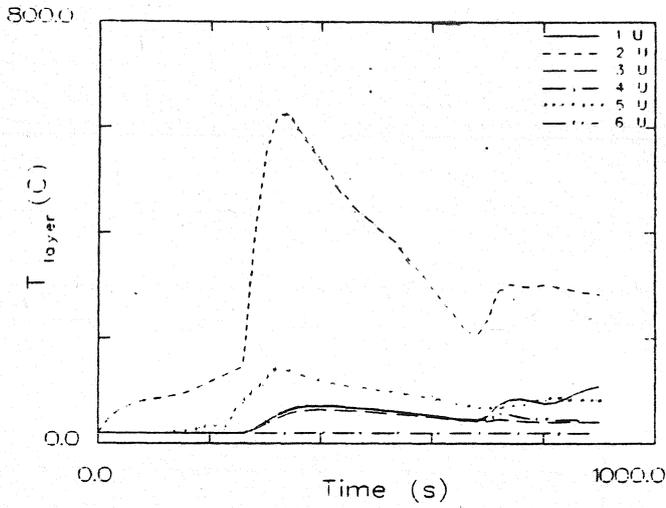
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

VERSN      13      Haar ein Geschoss, Fall 4a zuerst alle Türe zu
TIMES      900     50 20  9  9
TAMB      293.   101300.  0.
EAMB      273.   101300.  0.
HI/F       0.00    0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
WIDTH     6.20    6.30  7.50  5.80  30.00  7.50
DEPTH     3.50    5.80  5.90  3.00  3.00  3.00
HEIGH     3.40    3.40  3.40  3.40  3.40  3.40
HVENT     1  5  1  1.10  2.00  0.00
HVENT     1  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
HVENT     2  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     2  7  1  3.70  3.00  1.00  0.00
HVENT     3  5  1  1.00  2.10  0.00
HVENT     3  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT     4  5  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     4  7  1  2.50  3.00  1.00  0.00
HVENT     5  6  1  1.10  2.10  0.00
HVENT     6  7  1  1.20  3.00  1.00  0.00
CVENT     1  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     1  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     2  5  1  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     2  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     3  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     3  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     4  5  1  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.00  0.00  0.00
CVENT     4  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CVENT     5  6  1  0.00  0.00  0.00  0.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
1.00  1.00  1.00
CVENT     6  7  1  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01  0.01
0.01  0.01  0.01
CELI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI  0.  0.  6.0  18100000.  300.
LFBO  2
LFBT  2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME  100.  2.  158.  2.  20.  20.  60.  70.  120.  180.
70.
FMASS  0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
.00  0.00
FAREA  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50  0.50
.50  0.50
FQDOT  0.00  1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT  1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR  0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030
CO  0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
CD  0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPER HAARFAENDE

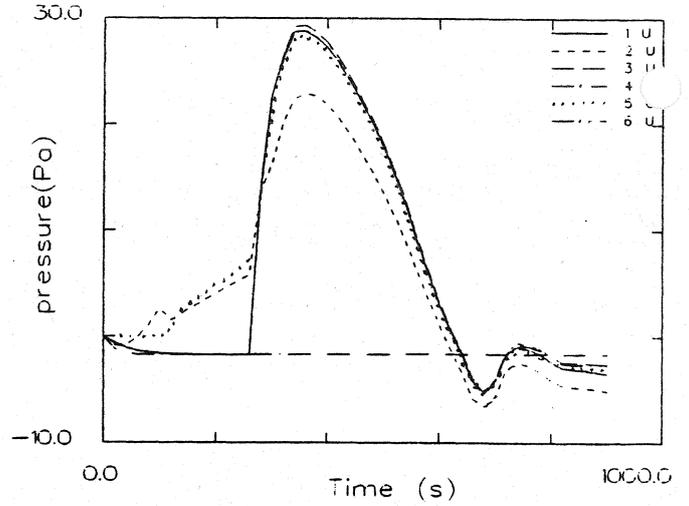
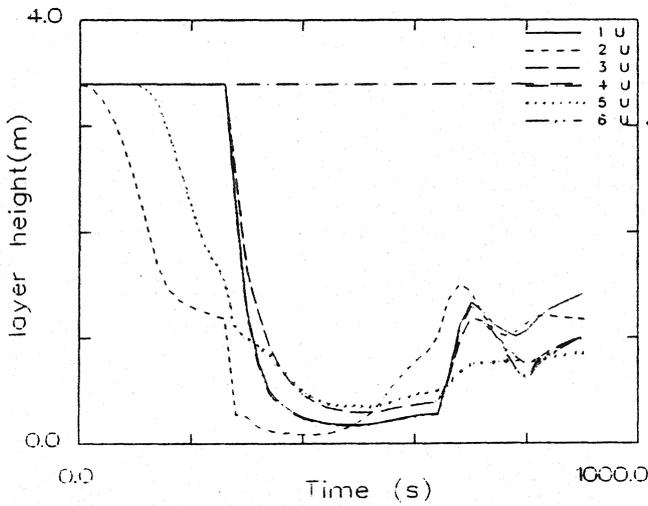
```

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Temperatur der Heißgasschicht

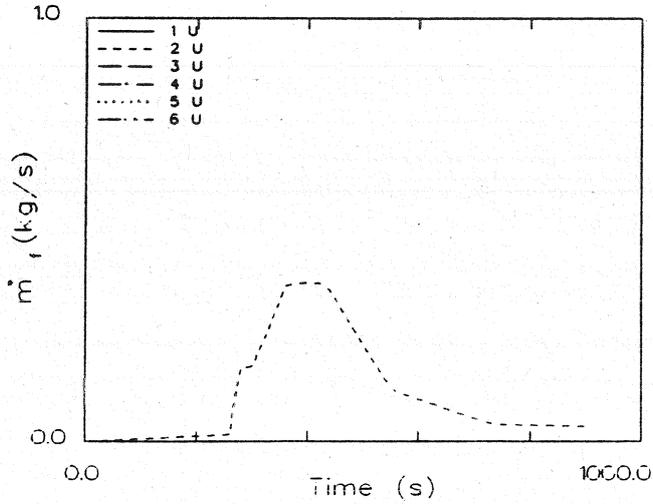
Temperatur der unteren Schicht



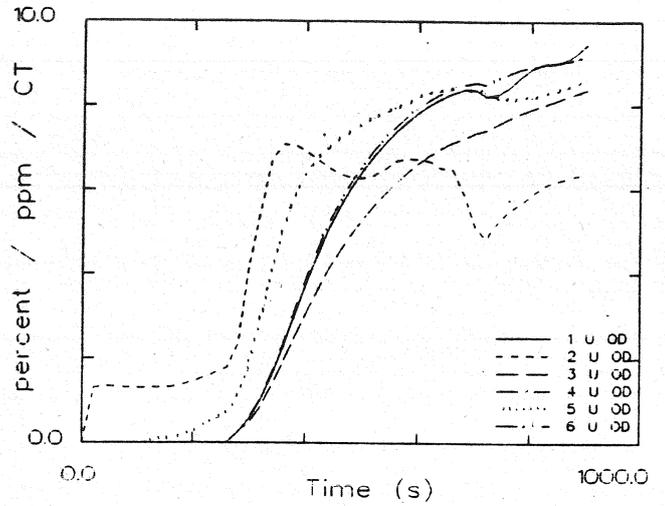
Dicke der rauchfreien Schicht

Druckänderung am Fußboden

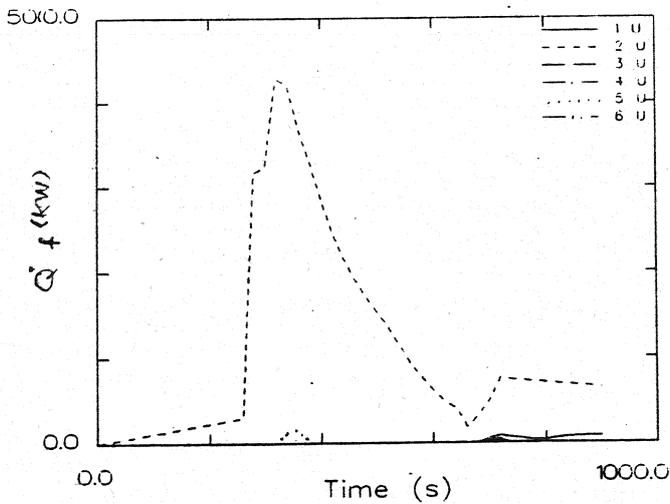
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



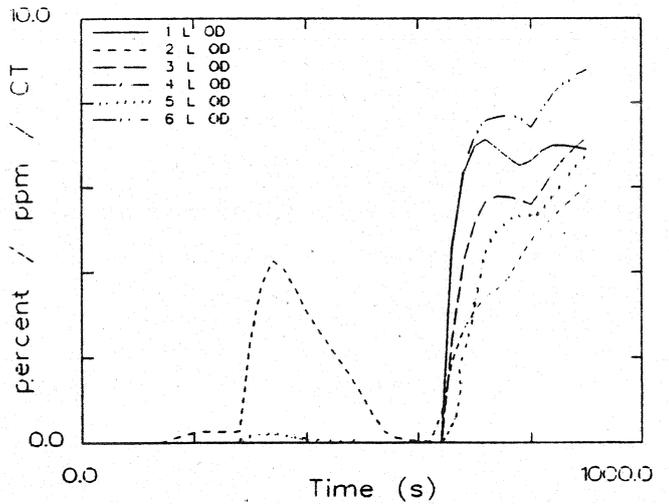
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

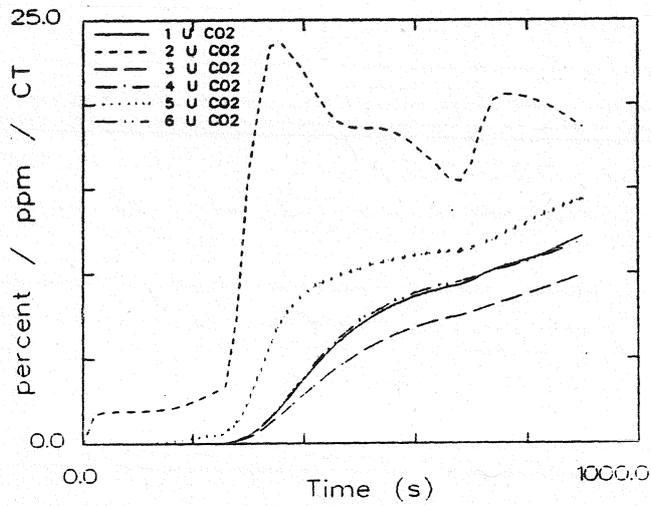


Energiefreisetzung

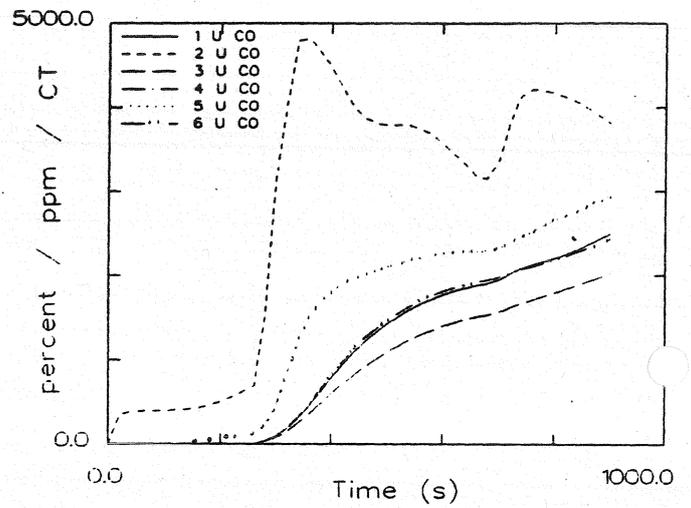


Optische Rauchdichte untere Schicht

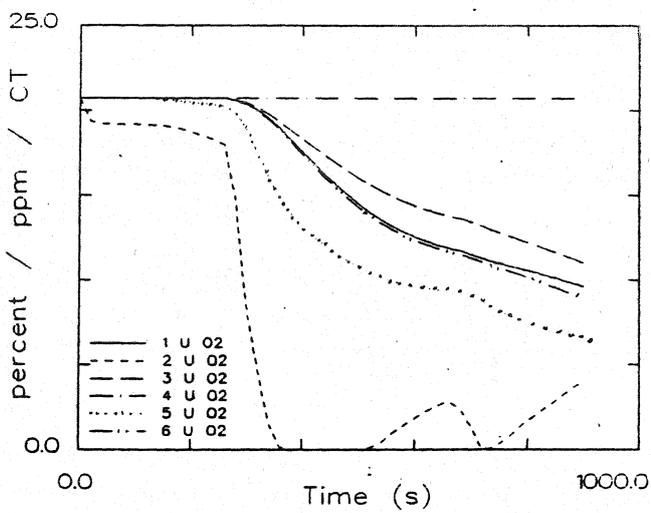
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



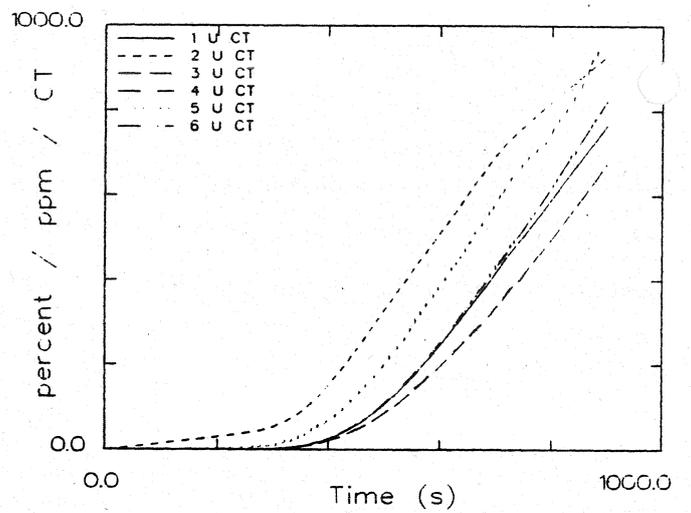
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

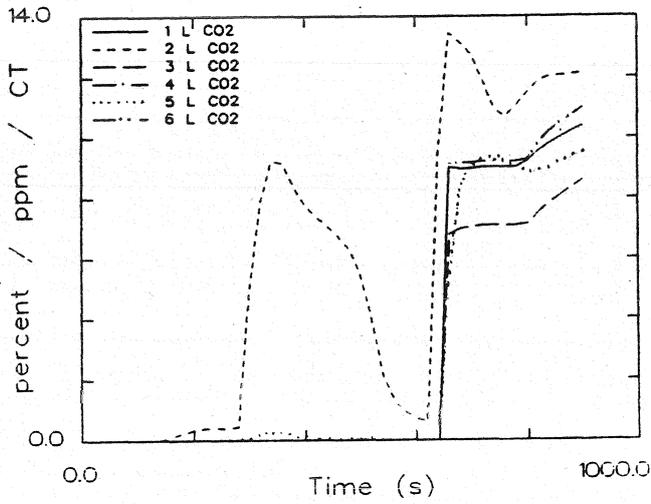


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

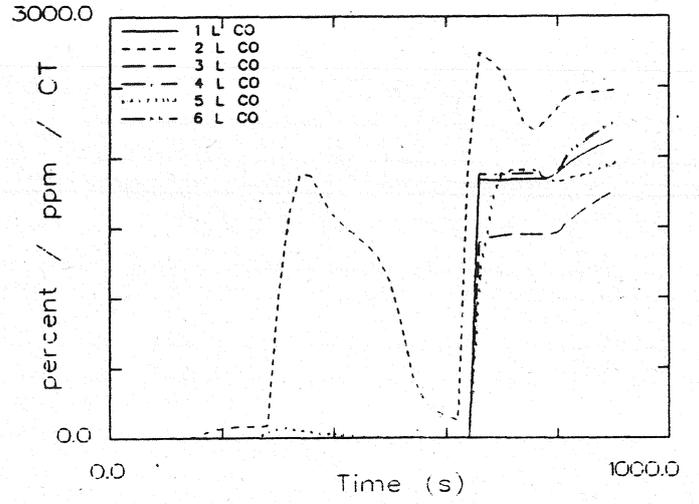


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

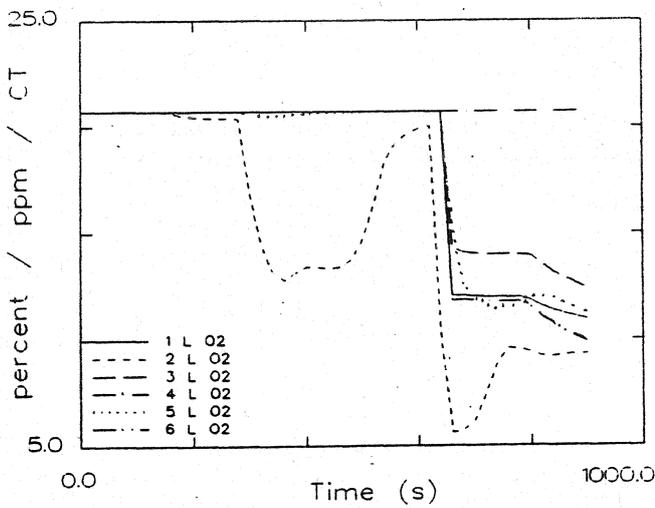
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



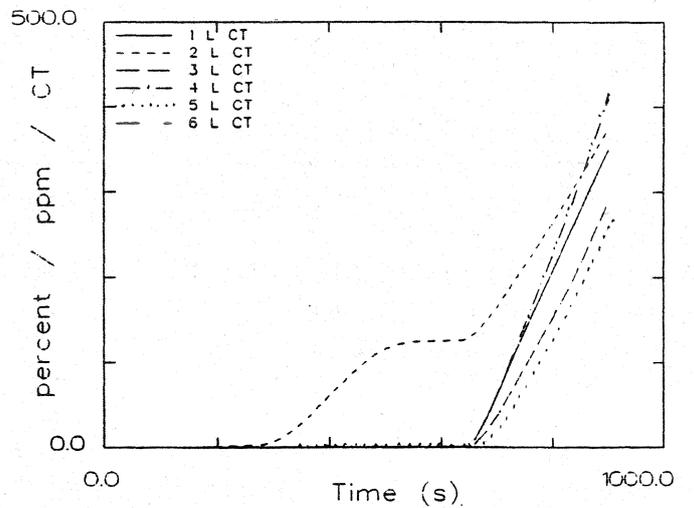
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

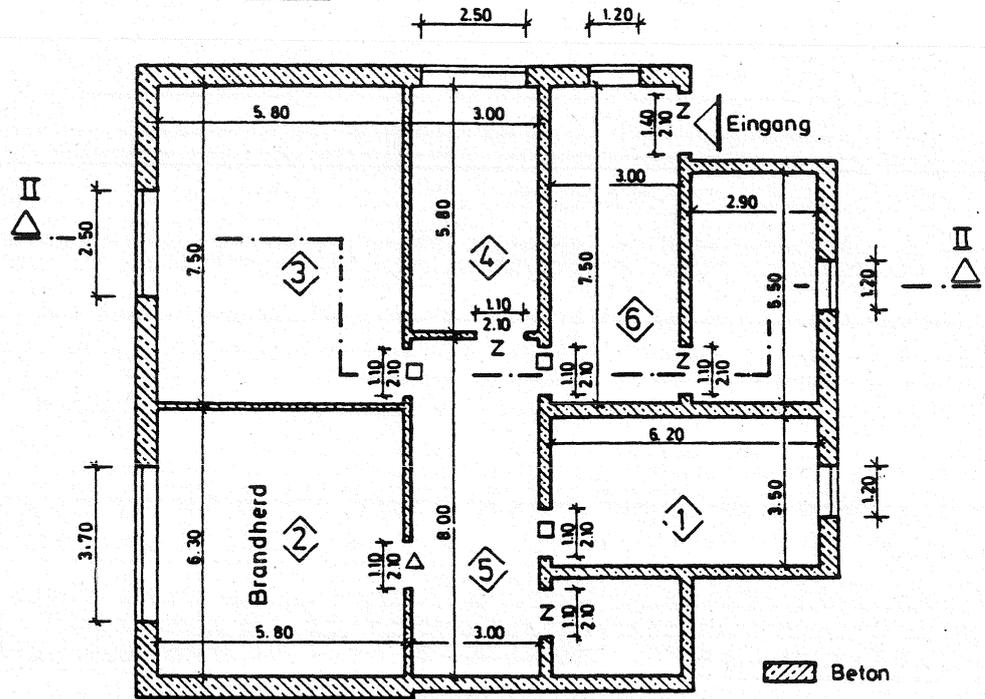


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

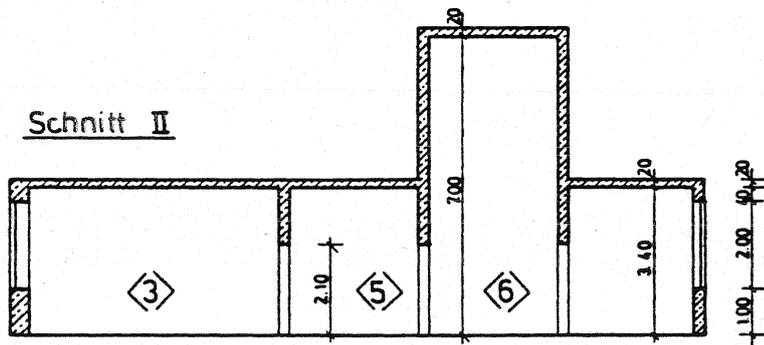
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR5

Grundriß 1



Schnitt II



- O = offen
- Z = zu
- 1 = 1% offen
- Δ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

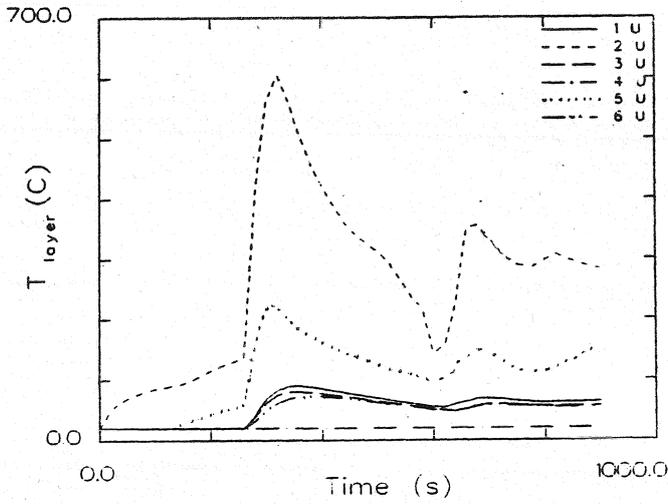
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

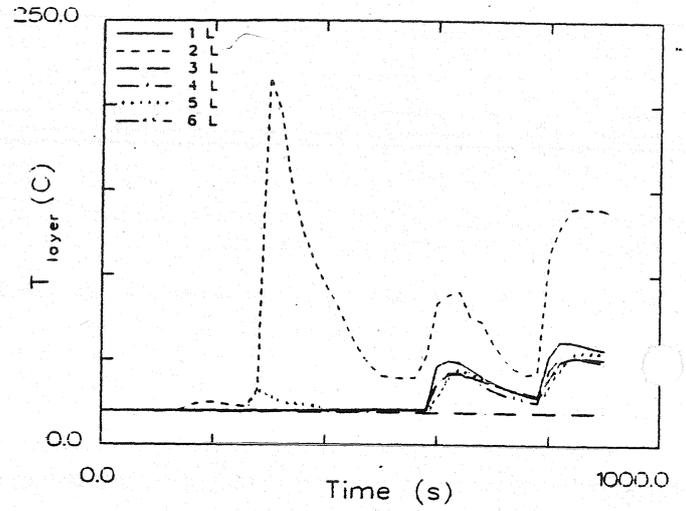
VERS 13 Scenario 3, Haar ein Geschoss, Fall 5 zuerst alle Türe zu
TIMES 900 50 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 273. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH 6.20 6.30 7.50 5.80 8.00 7.50
DEPTH 3.50 5.80 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 7.00
HVENT 1 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
CVENT 1 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 3 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 0.00 0.00 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 1810000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 C.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPP HAARS.DMP

```

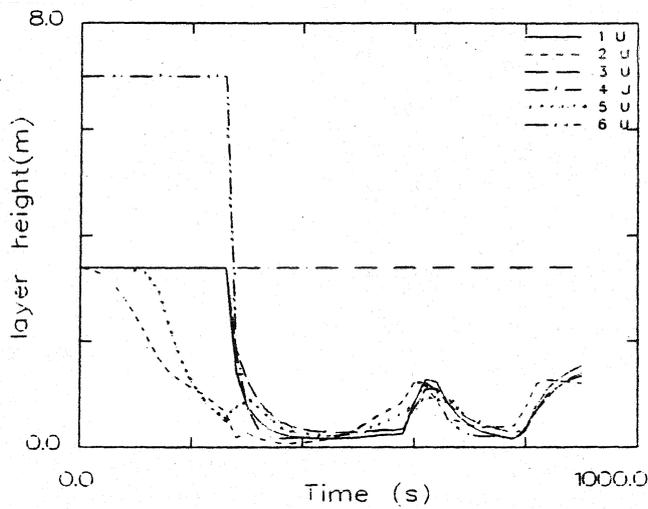
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



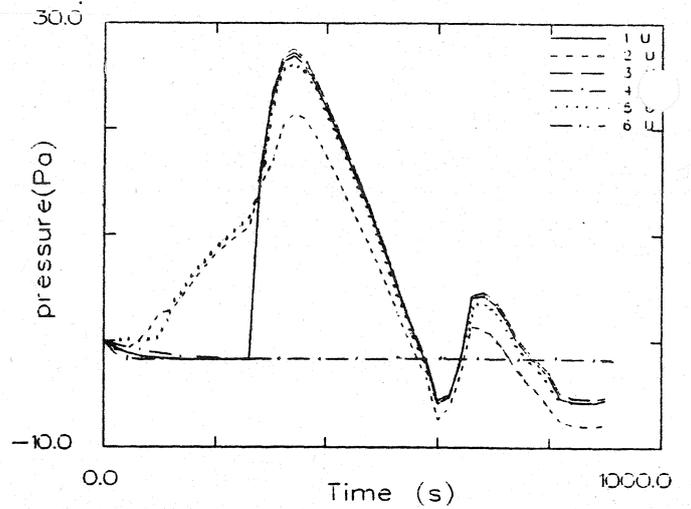
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

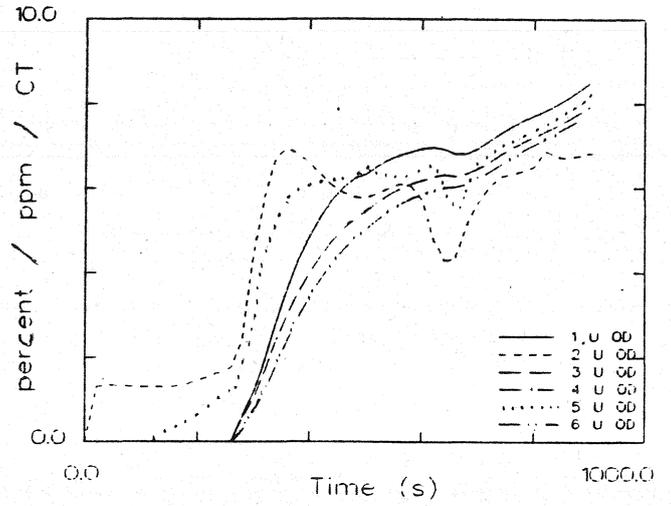
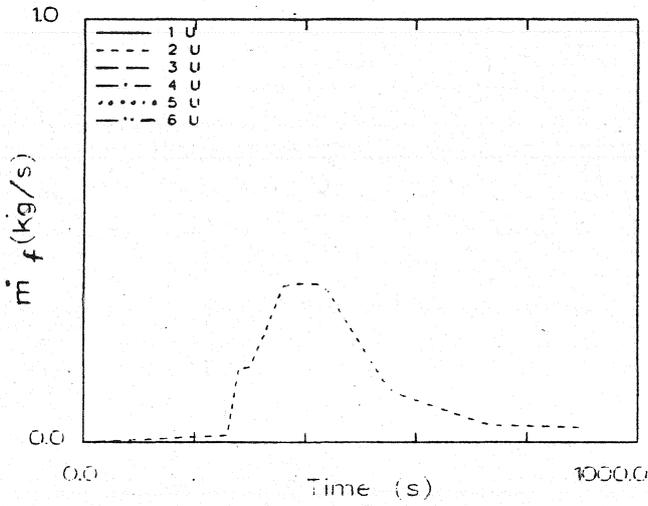


Dicke der rauchfreien Schicht



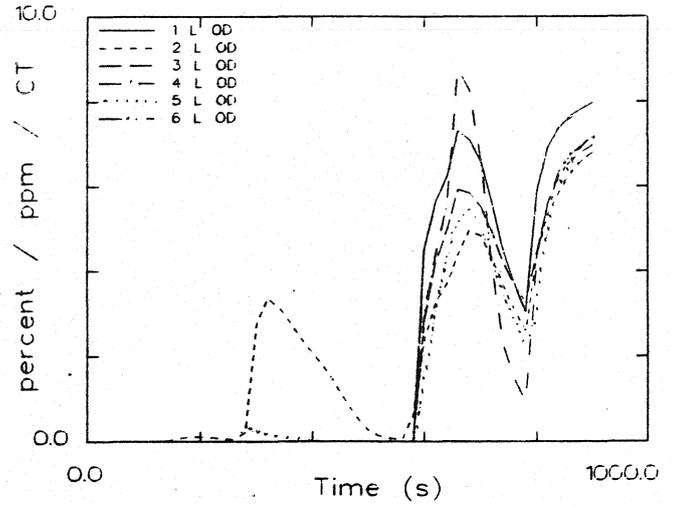
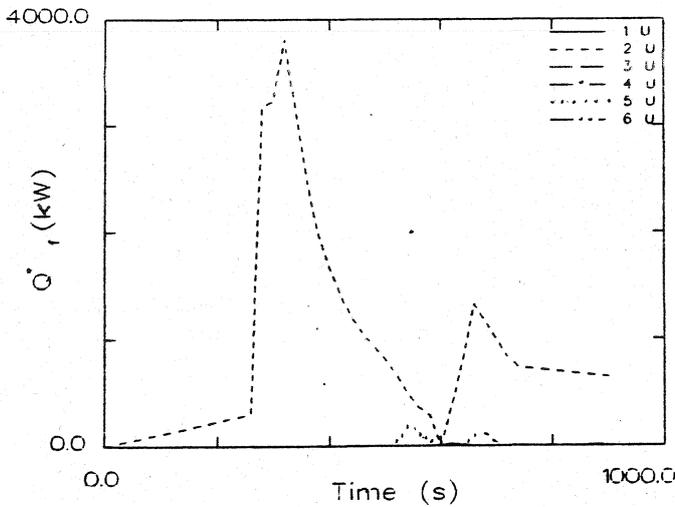
Druckänderung am Fußboden

Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

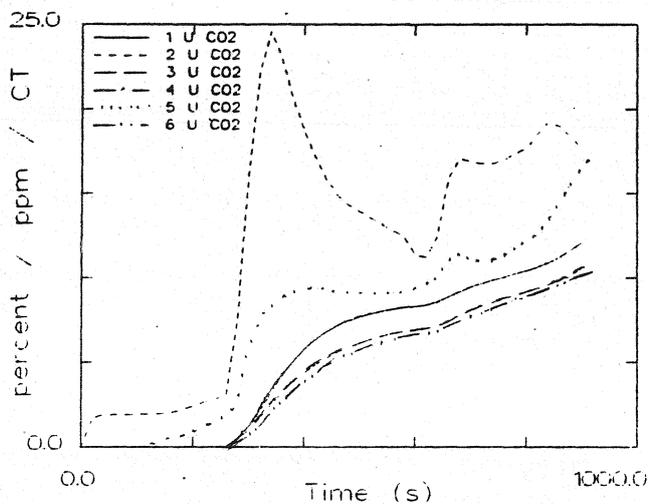
Optische Rauchdichte obere Schicht



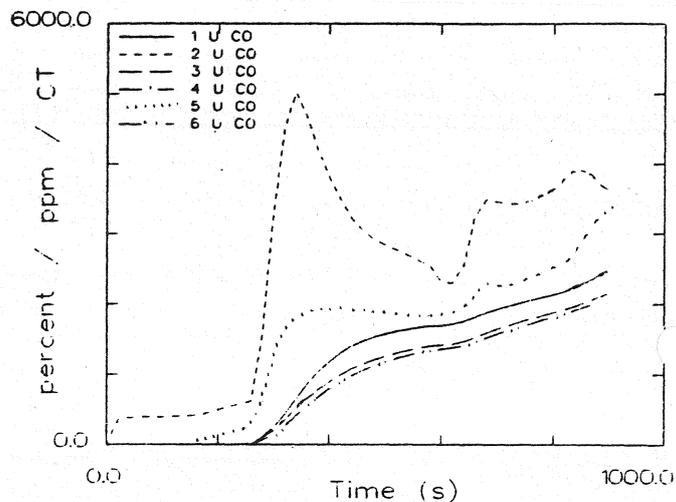
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

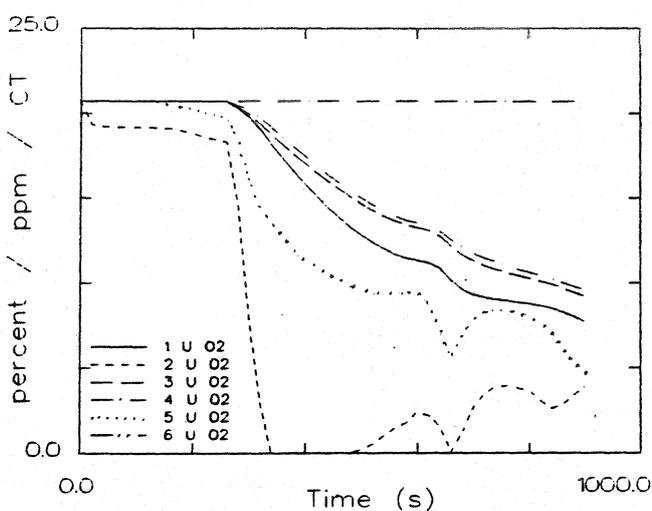
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



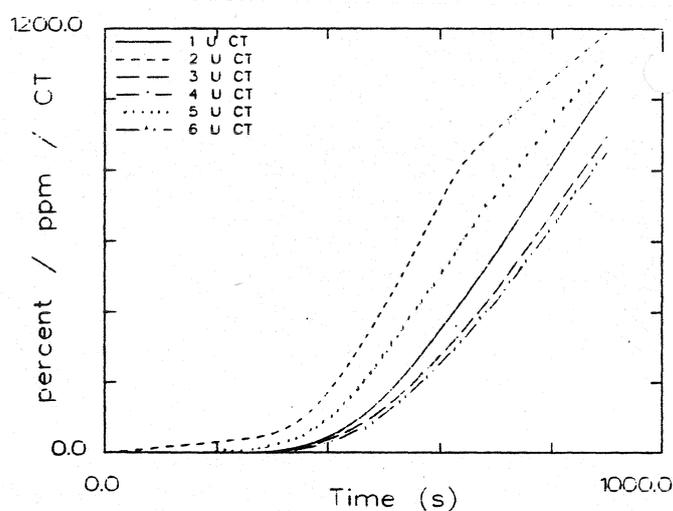
**CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**



**CO - Konzentration obere Schicht**

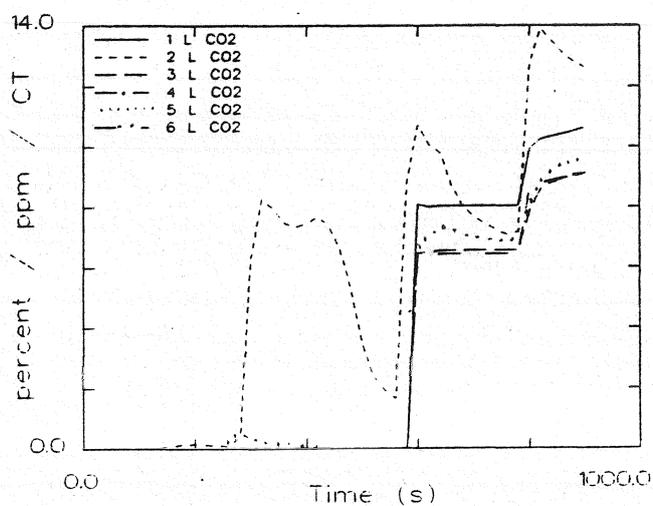


**O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**

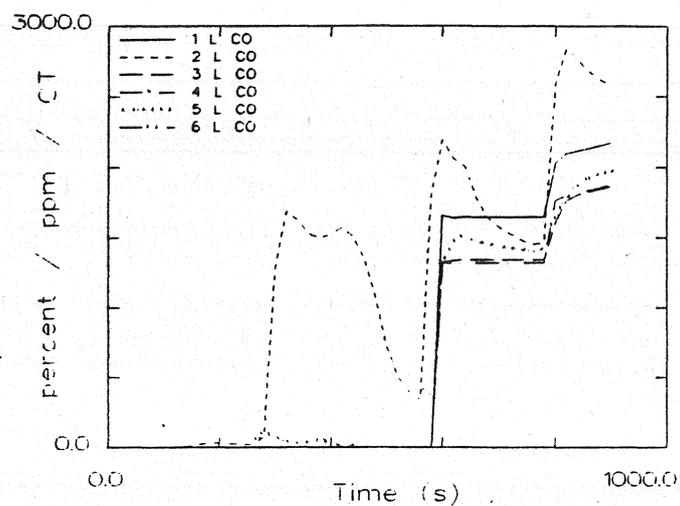


**Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht**

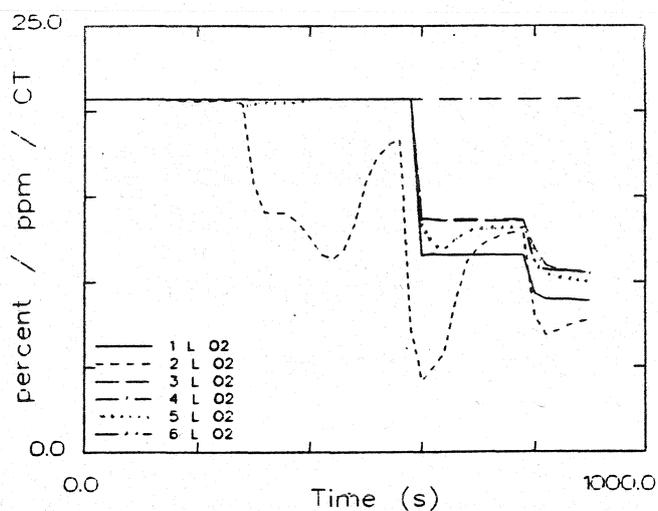
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



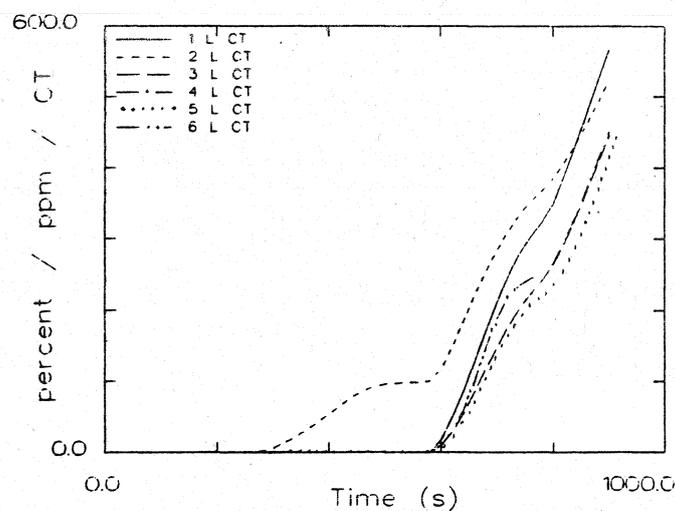
**CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**CO - Konzentration untere Schicht**



**O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht**



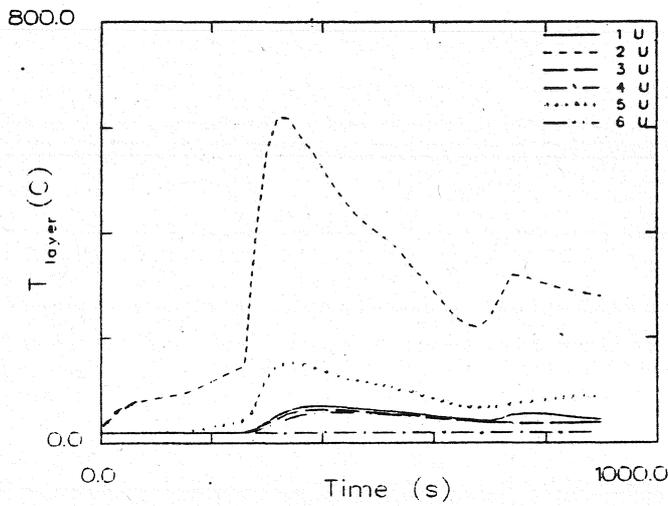
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

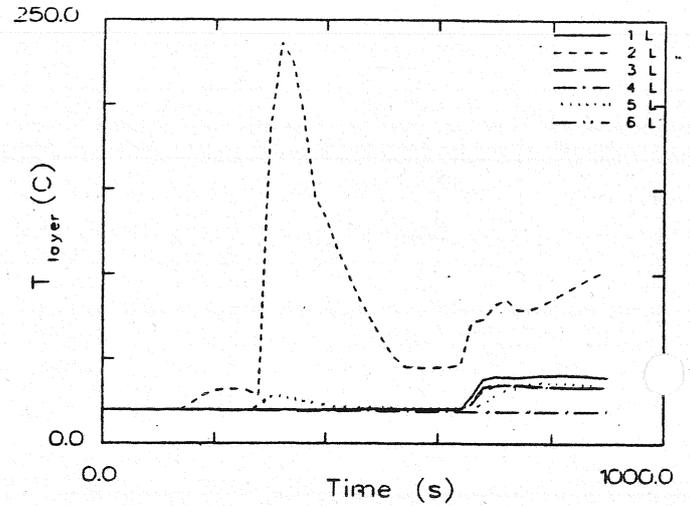
VERSN      13      Haar ein Geschoss. Fall 5a zuerst alle Türe zu
TIMES      900    50    20    0    0
TAMB      293.   101300.    0.
EAMB      273.   101300.    0.
HI/F      0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
WIDTH     6.20    6.30    7.50    5.30    30.00    7.50
DEPTH     3.50    5.80    5.90    3.00    3.00    3.00
HEIGH     3.40    3.40    3.40    3.40    3.40    7.00
HVENT     1  5  1    1.10    2.00    0.00
HVENT     1  7  1    1.20    3.00    1.00    0.00
HVENT     2  5  1    1.10    2.10    0.00
HVENT     2  7  1    3.70    3.00    1.00    0.00
HVENT     3  5  1    1.00    2.10    0.00
HVENT     3  7  1    2.50    3.00    1.00    0.00
HVENT     4  5  1    1.10    2.10    0.00
HVENT     4  7  1    2.50    3.00    1.00    0.00
HVENT     5  6  1    1.10    2.10    0.00
HVENT     6  7  1    1.20    3.00    1.00    0.00
CVENT     1  5  1    0.00    0.00    0.00    0.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT     1  7  1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT     2  5  1    0.00    0.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT     2  7  1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT     3  5  1    0.00    0.00    0.00    0.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT     3  7  1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT     4  5  1    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
0.00    0.00    0.00
CVENT     4  7  1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT     5  6  1    0.00    0.00    0.00    0.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT     6  7  1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI      0.    0.    6.0    18100000.    300.
LFBO      2
LFBT      2
LFPOS     1
LFMAX     11
FTIME     100.    2.    153.    2.    20.    20.    60.    70.    120.    180.
70.
FMASS     0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH     0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
.00    0.00
FAREA     0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50
.50    0.50
FQDOT     0.00    1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT        1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR       0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO        0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD        0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAARSA.DMP

```

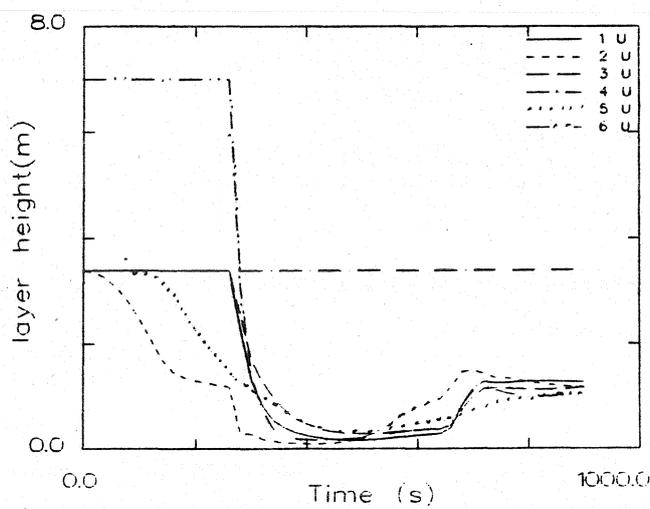
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



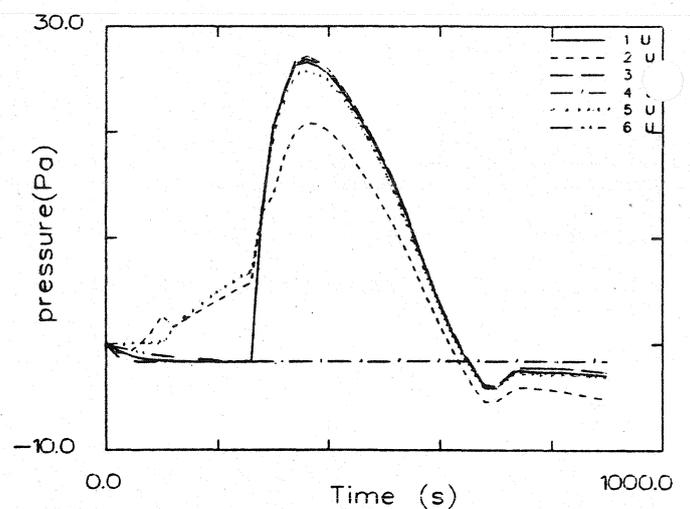
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

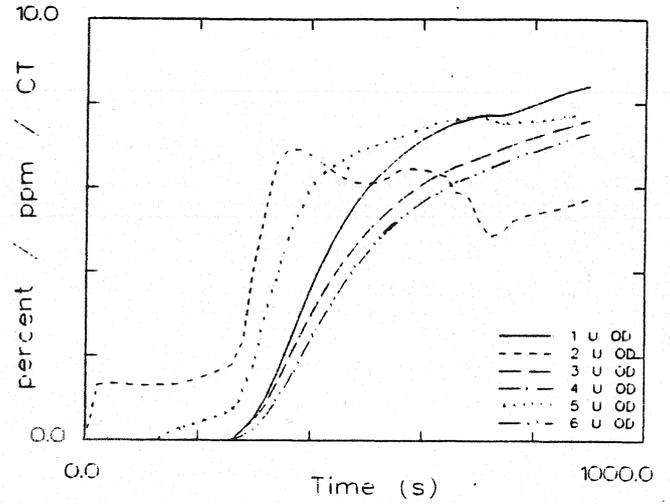
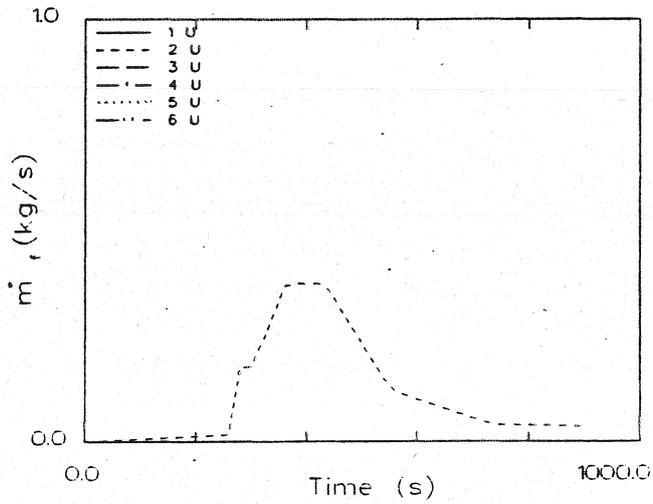


Dicke der rauchfreien Schicht



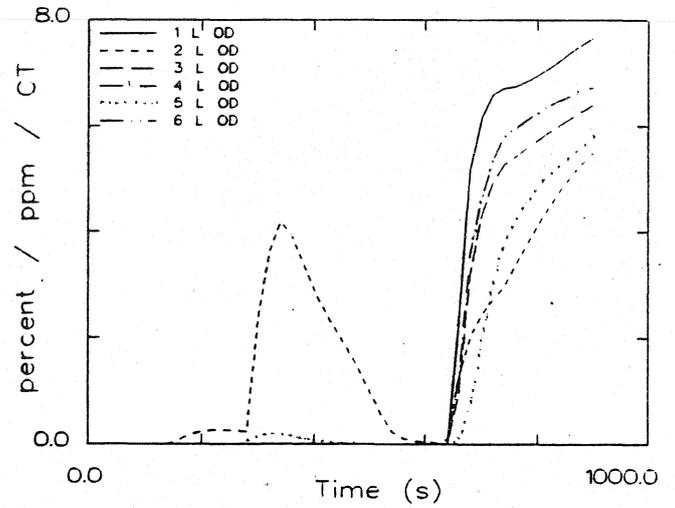
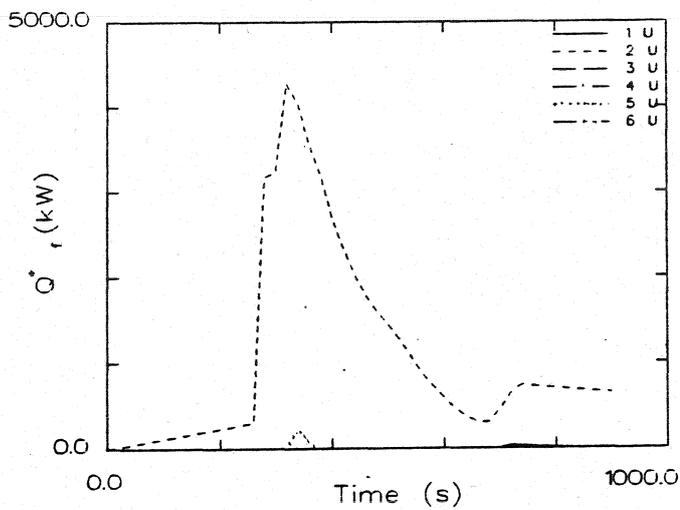
Druckänderung am Fußboden

## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



Abbrandrate

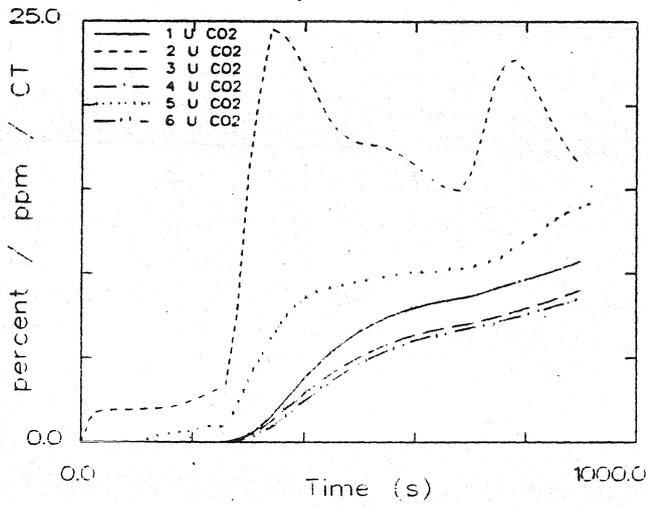
Optische Rauchdichte obere Schicht



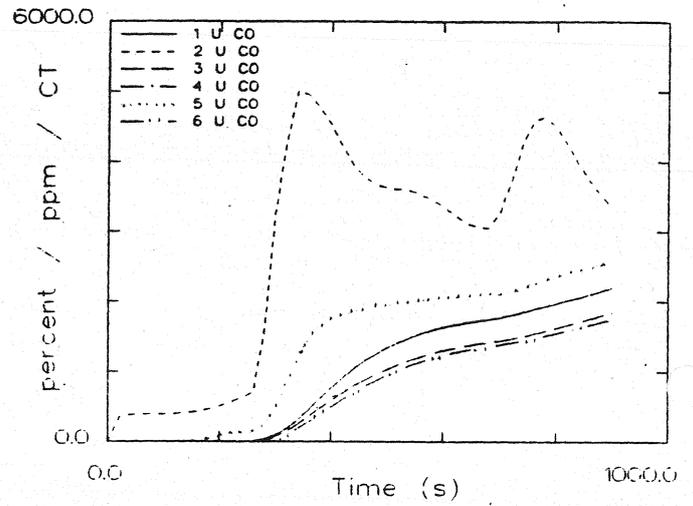
Energiefreisetzung

Optische Rauchdichte untere Schicht

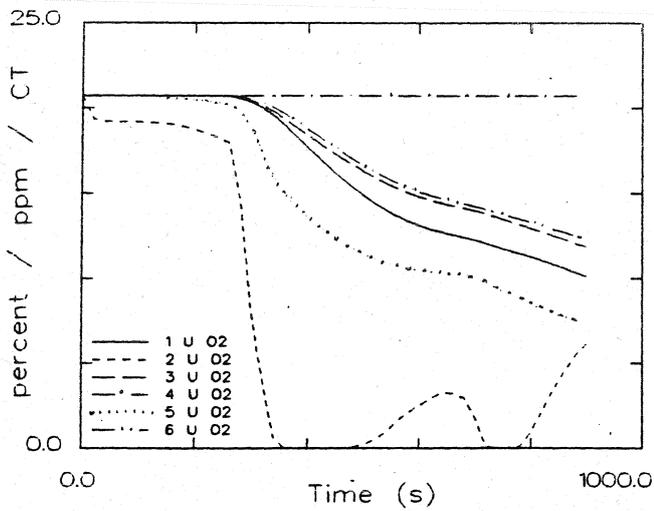
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



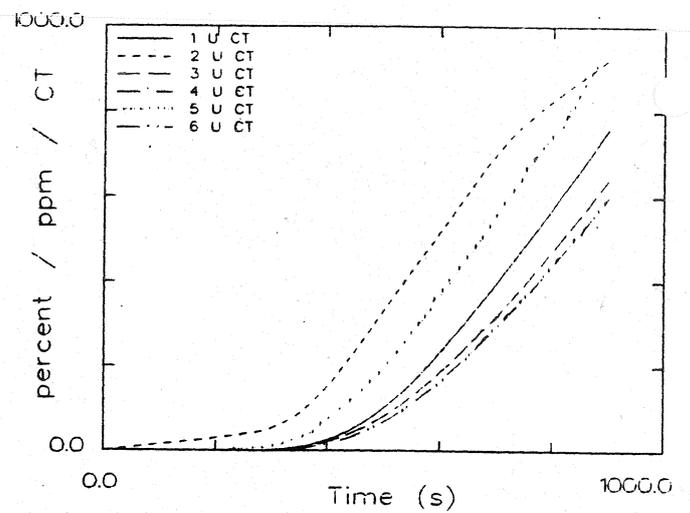
**CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**



**CO - Konzentration obere Schicht**

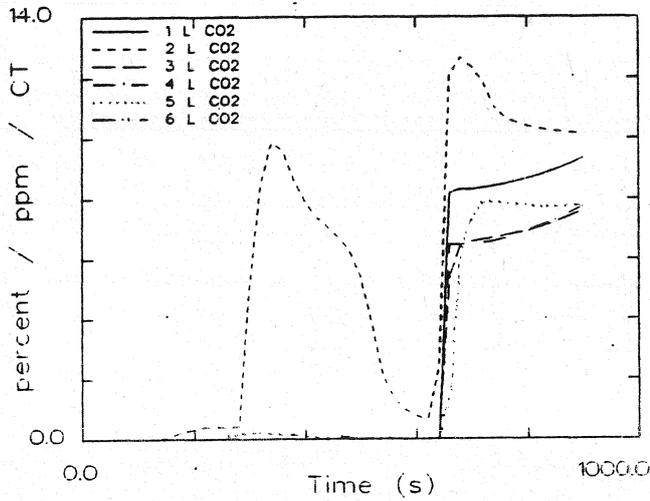


**O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**

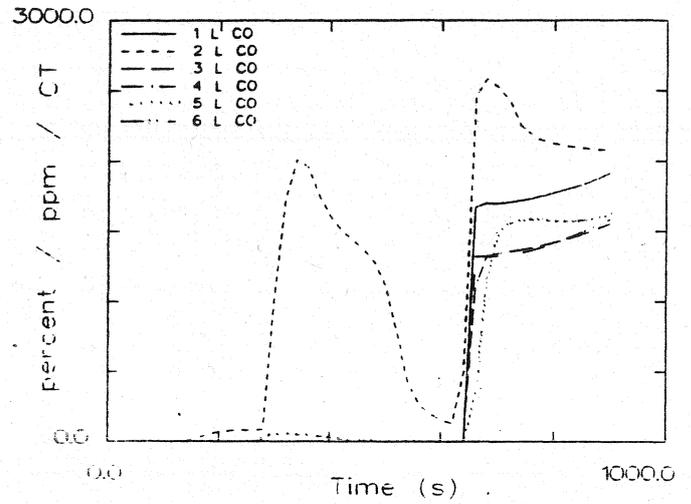


**Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht**

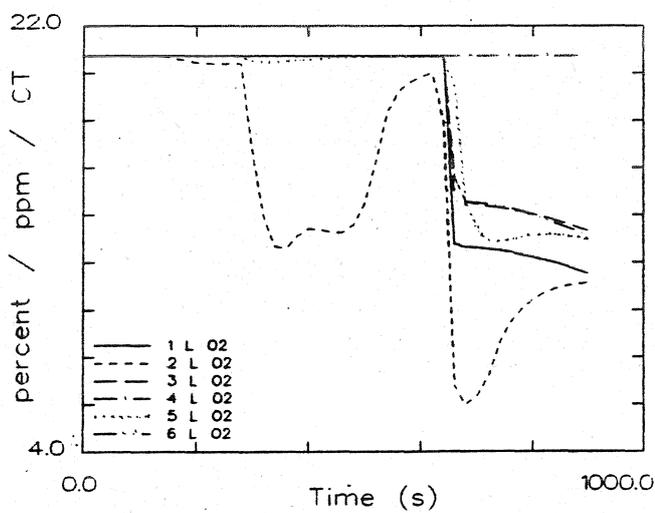
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



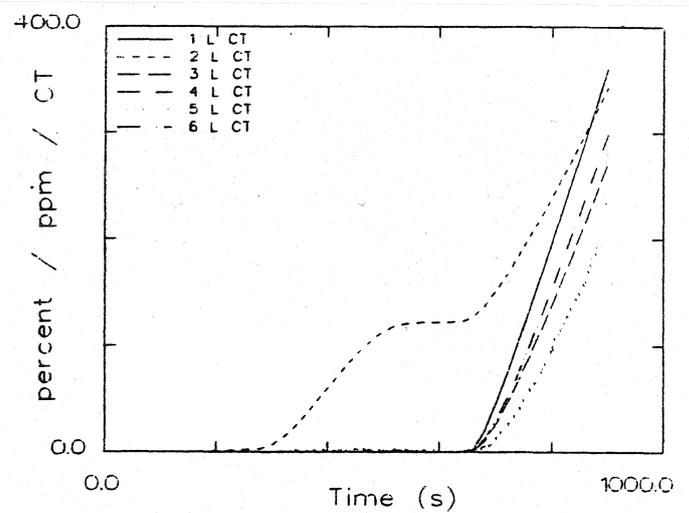
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

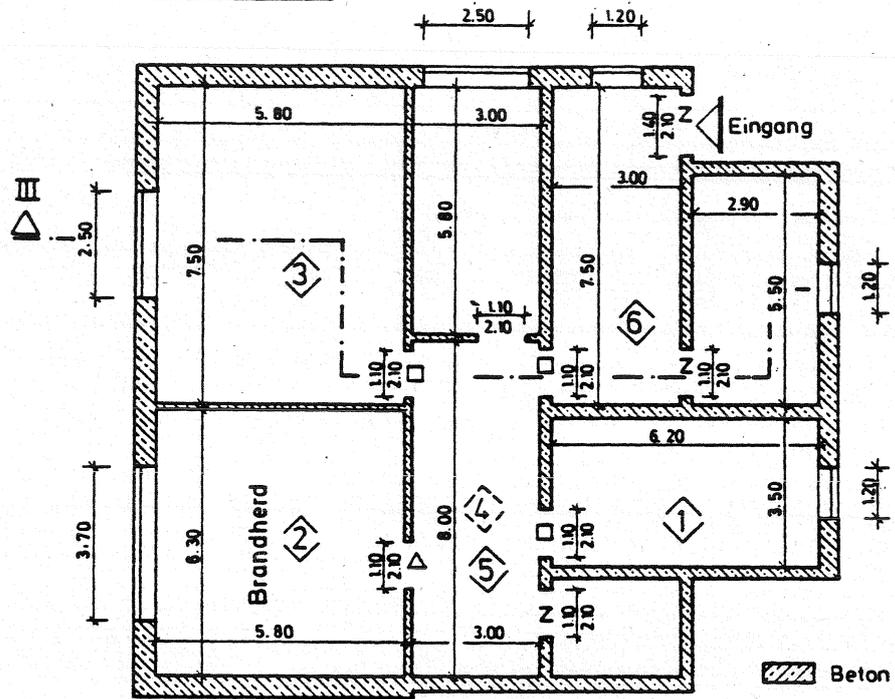


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

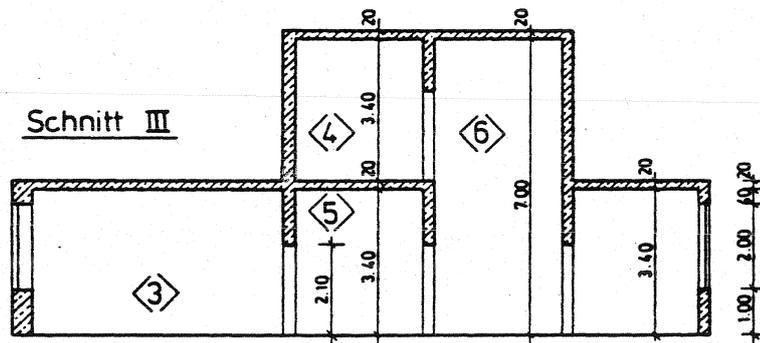
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR6

Grundriß 1



Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

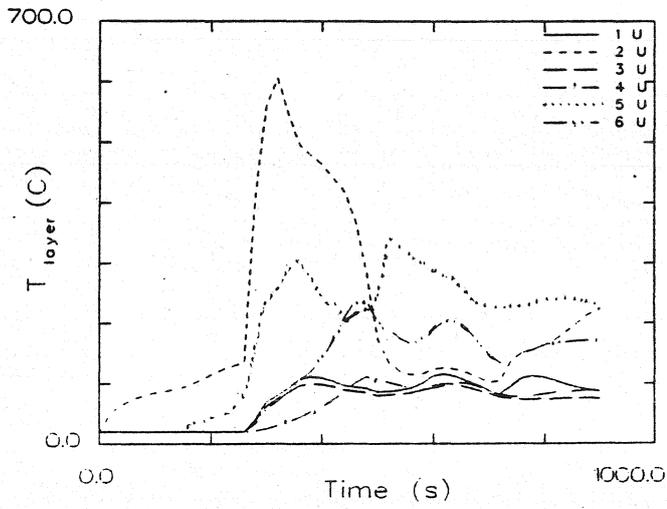
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

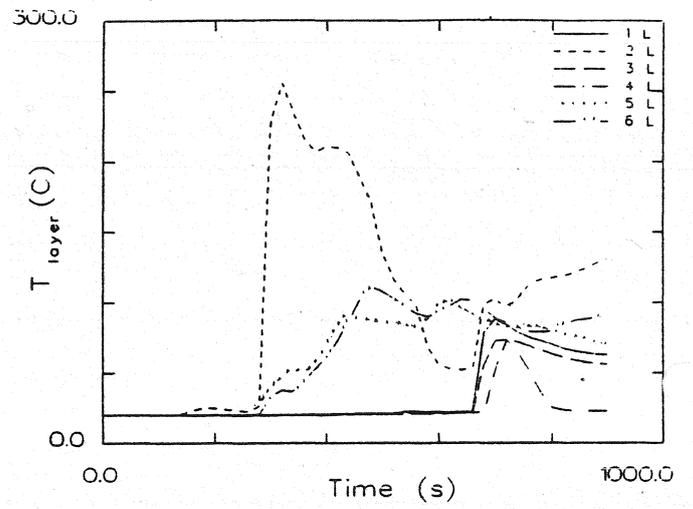
VERSN      18      Haar ein Geschoss, Fall 6 zuerst alle Türe zu
TIMES      900    50 20 0 0
TAMB       293.  101300.  0.
EAMB       273.  101300.  0.
HI/F       0.00   0.00   0.00   3.60   0.00   0.00
WIDTH      6.20   6.30   7.50   8.00   8.00   7.50
DEPTH      3.50   5.80   5.90   3.00   3.00   3.00
HEIGH      3.40   3.40   3.40   3.40   3.40   7.00
HVENT      1 5 1   1.10   2.00   0.00
HVENT      1 7 1   1.20   3.00   1.00   0.00
HVENT      2 5 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      2 7 1   3.70   3.00   1.00   0.00
HVENT      3 5 1   1.00   2.10   0.00
HVENT      3 7 1   2.50   3.00   1.00   0.00
HVENT      4 6 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      4 7 1   2.50   3.00   1.00   0.00
HVENT      5 6 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      6 7 1   1.20   3.00   1.00   0.00
CVENT      1 5 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      1 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      2 5 1   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      2 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      3 5 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      3 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      4 6 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      4 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      5 6 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      6 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI      0. 0. 6.0 18100000 300.
LFBO       2
LFBT       2
LFPOS      1
LFMAX      11
FTIME      100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS      0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FRIGH      0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA      0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT      0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT         1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR        0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD         0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR6.DMP

```

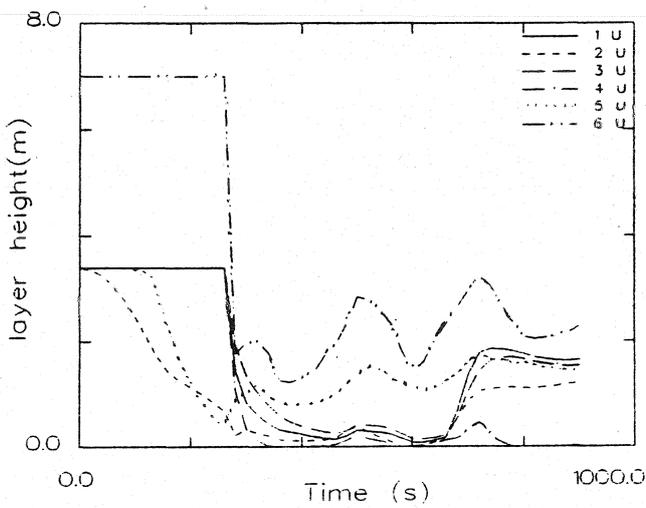
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



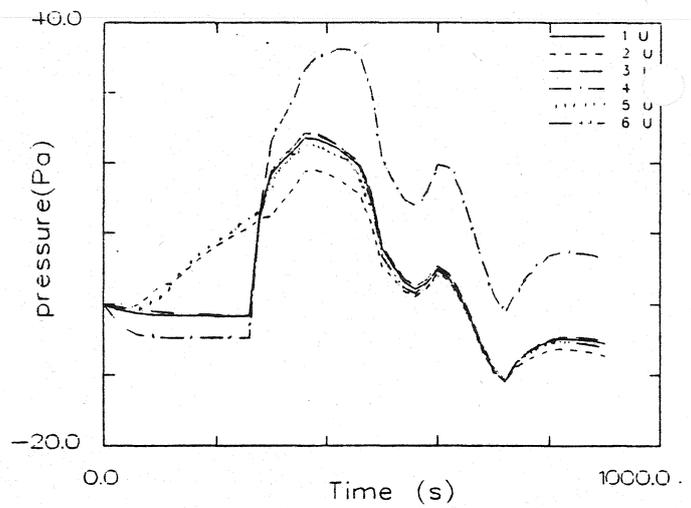
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

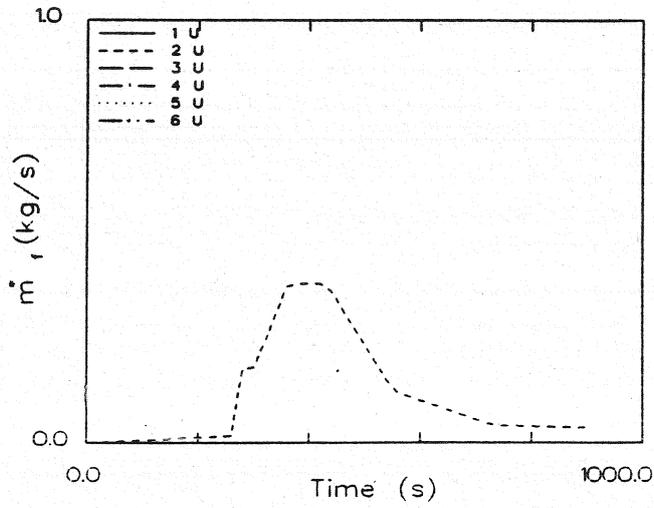


Dicke der rauchfreien Schicht

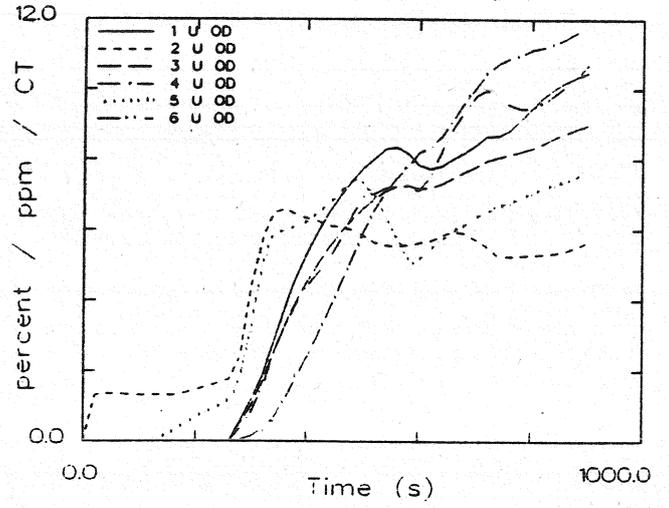


Druckänderung am Fußboden

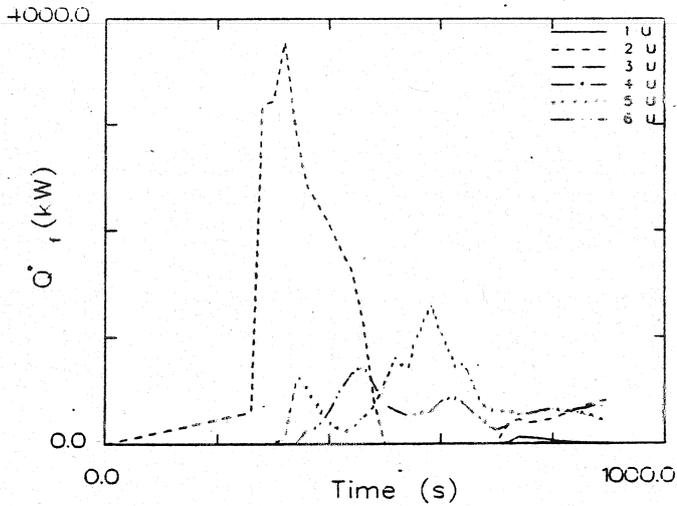
# Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



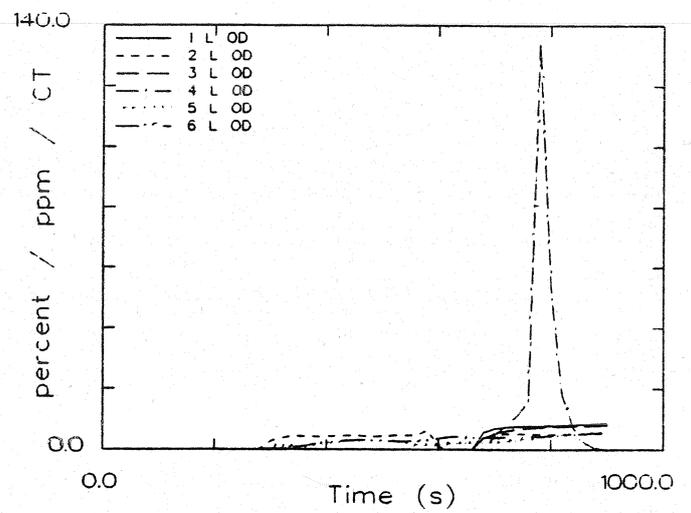
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

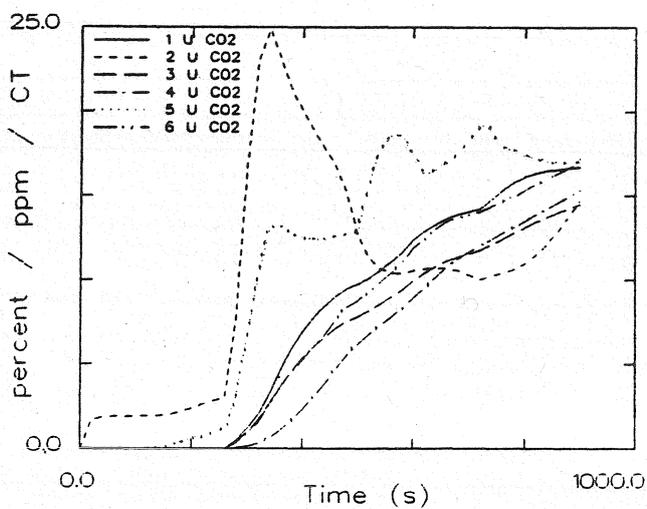


Energiefreisetzung

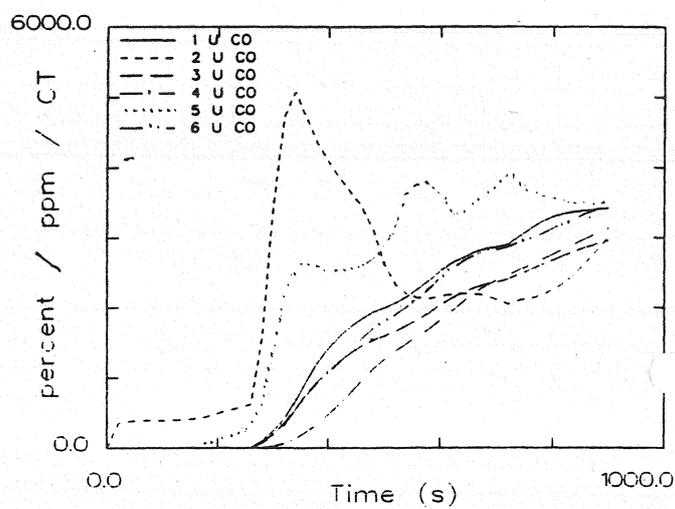


Optische Rauchdichte untere Schicht

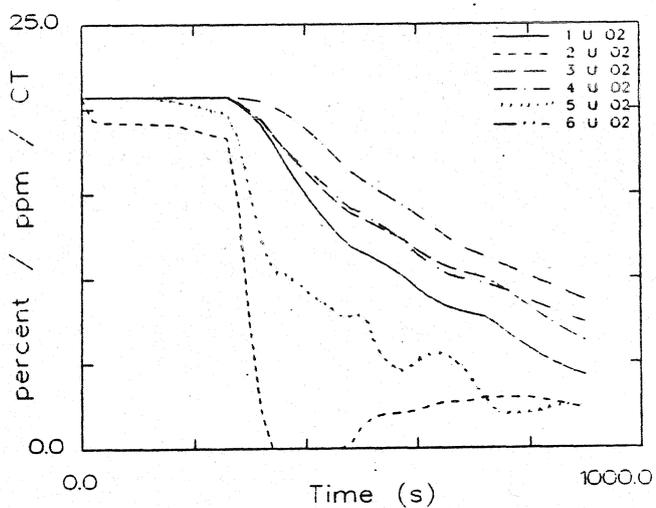
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



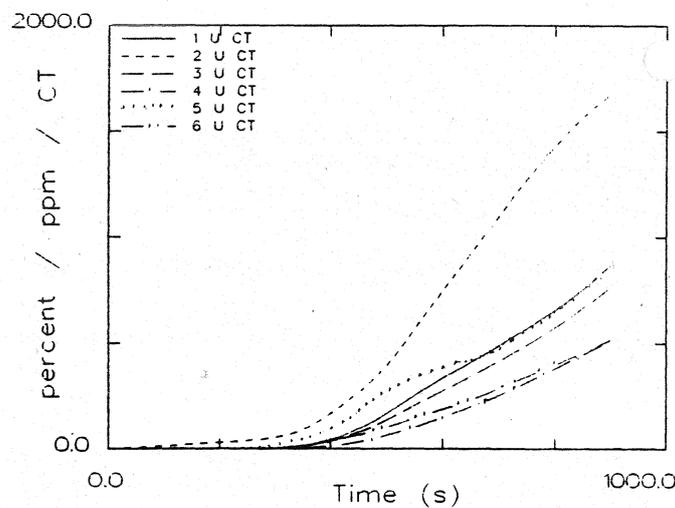
**CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**



**CO - Konzentration obere Schicht**

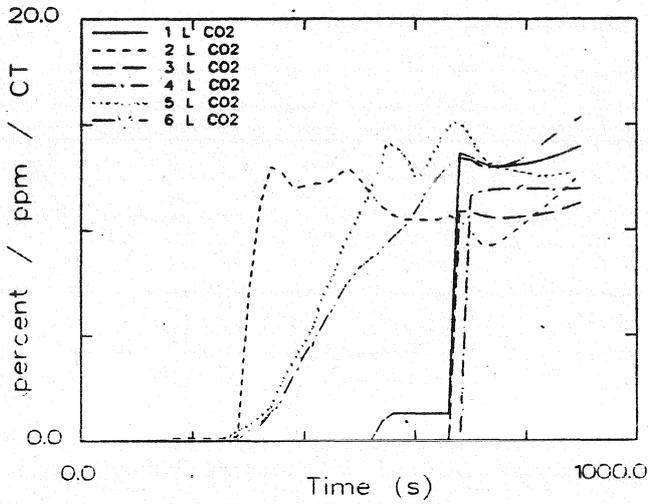


**O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht**

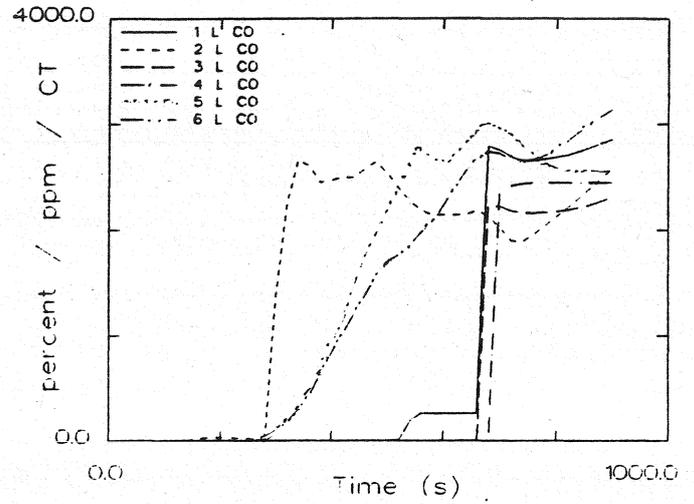


**Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht**

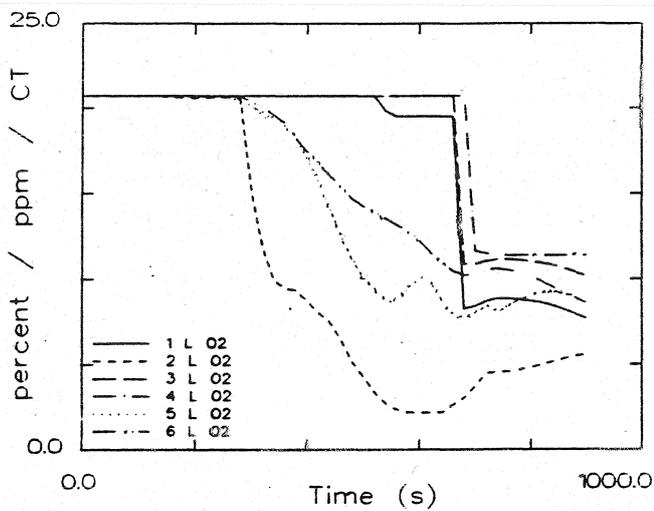
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



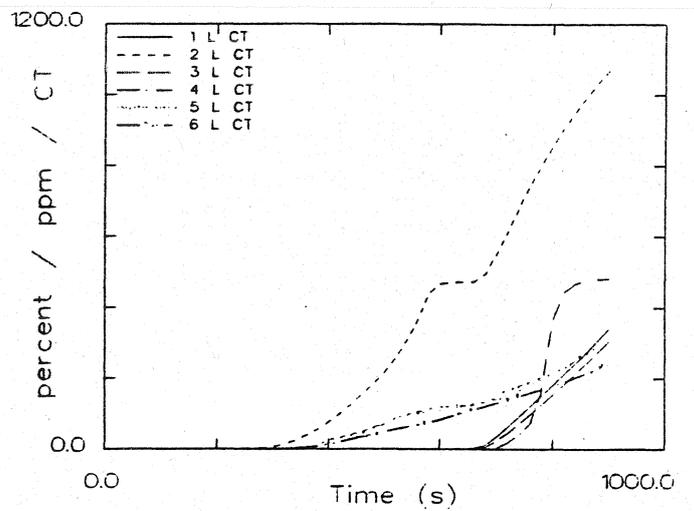
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

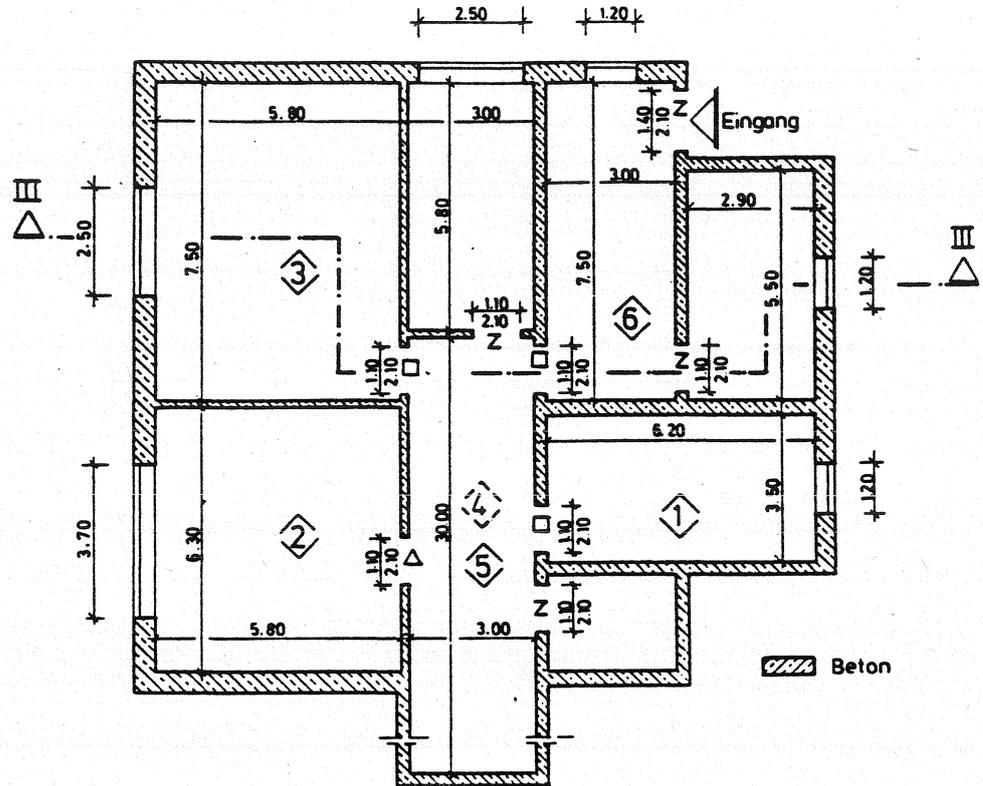


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

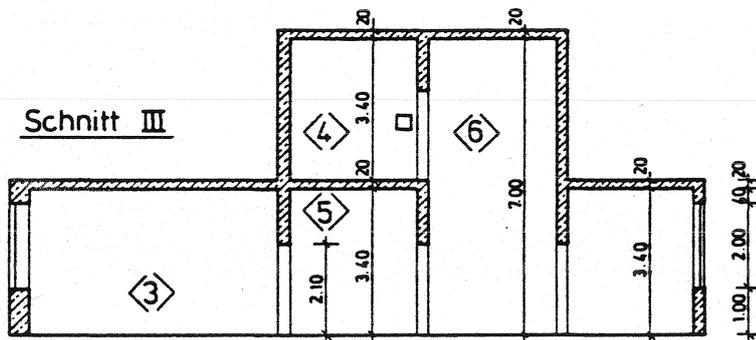
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR6A

Grundriß 2



Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- 1 = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

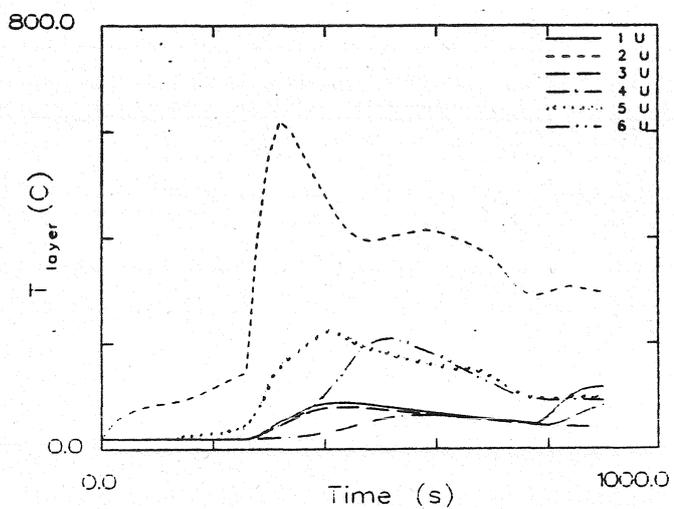
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

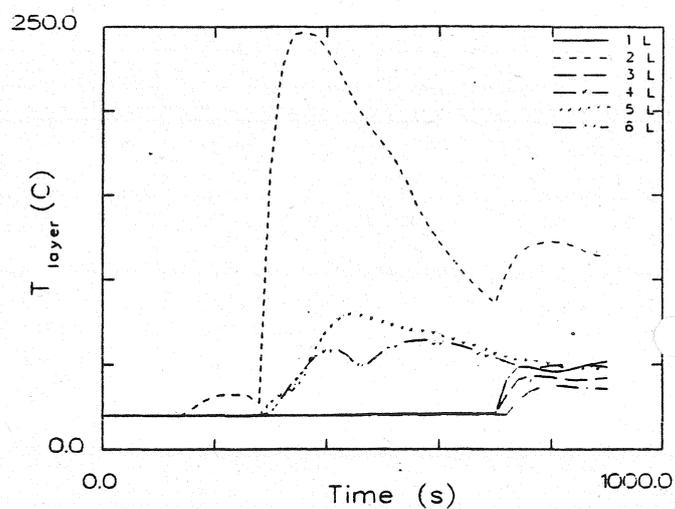
VERSN      13      Haar ein Geschoss, Fall 6a zuerst alle Türe zu
TIMES      900    50 20 0 0
TAMB       293.  101300.  0.
EAMB       273.  101300.  0.
HI/F       0.00   0.00   0.00   3.60   0.00   0.00
WIDTH      6.20   6.30   7.50  30.00  30.00   7.50
DEPTH      3.50   5.80   5.90   3.00   3.00   3.00
HEIGH      3.40   3.40   3.40   3.40   3.40   7.00
HVENT      1 5 1   1.10   2.00   0.00
HVENT      1 7 1   1.20   3.00   1.00   0.00
HVENT      2 5 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      2 7 1   3.70   3.00   1.00   0.00
HVENT      3 5 1   1.00   2.10   0.00
HVENT      3 7 1   2.50   3.00   1.00   0.00
HVENT      4 6 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      4 7 1   2.50   3.00   1.00   0.00
HVENT      5 6 1   1.10   2.10   0.00
HVENT      6 7 1   1.20   3.00   1.00   0.00
CVENT      1 5 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      1 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      2 5 1   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      2 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      3 5 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      3 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      4 6 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      4 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT      5 6 1   0.00   0.00   0.00   0.00   1.00   1.00   1.00   1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT      6 7 1   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01   0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 1810000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR6A.DMP

```

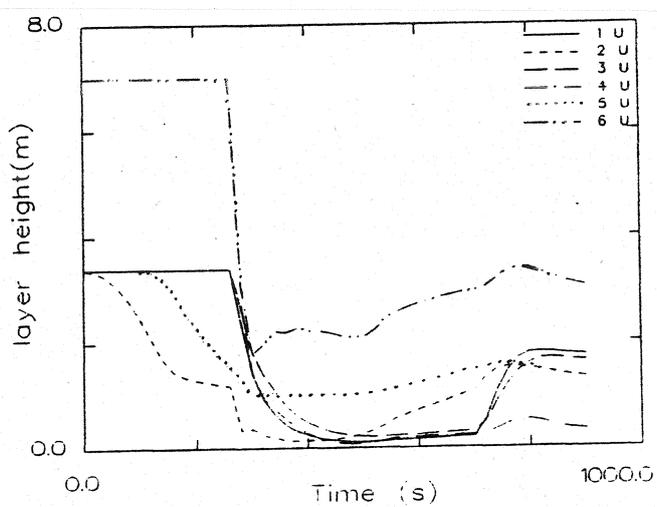
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



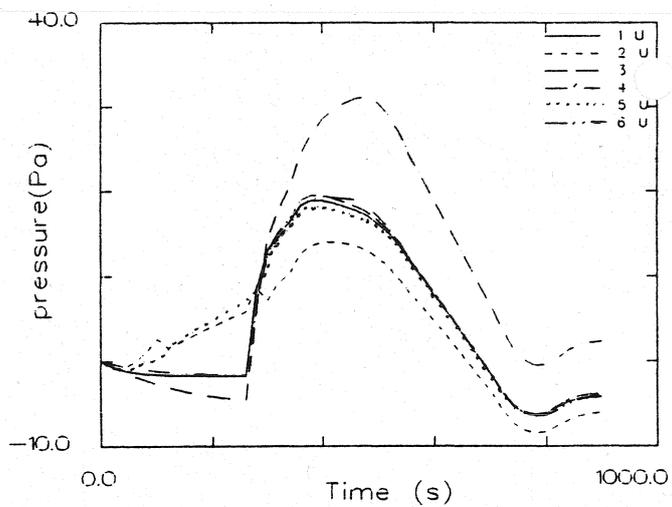
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

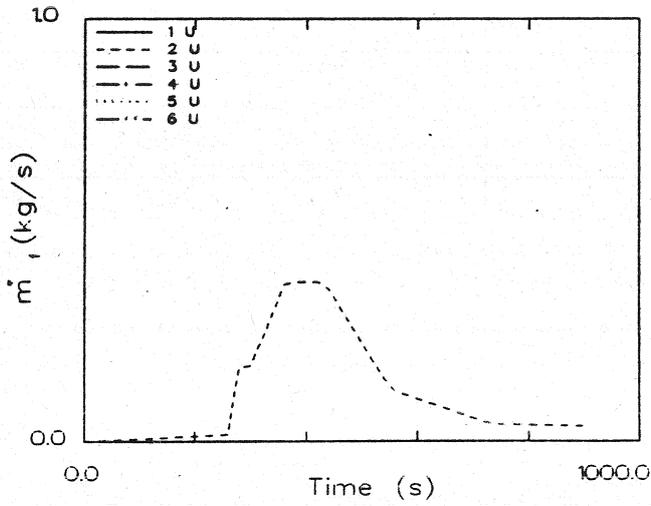


Dicke der rauchfreien Schicht

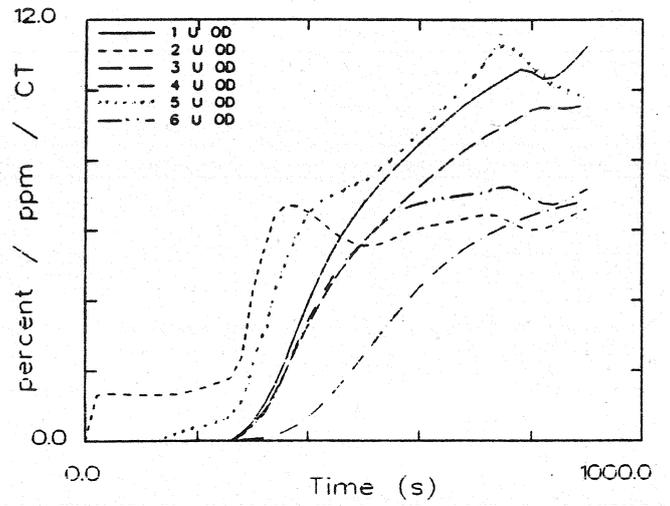


Druckänderung am Fußboden

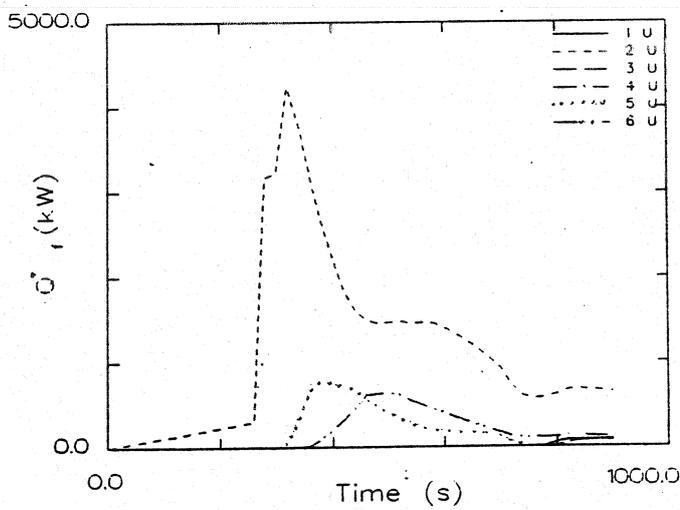
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



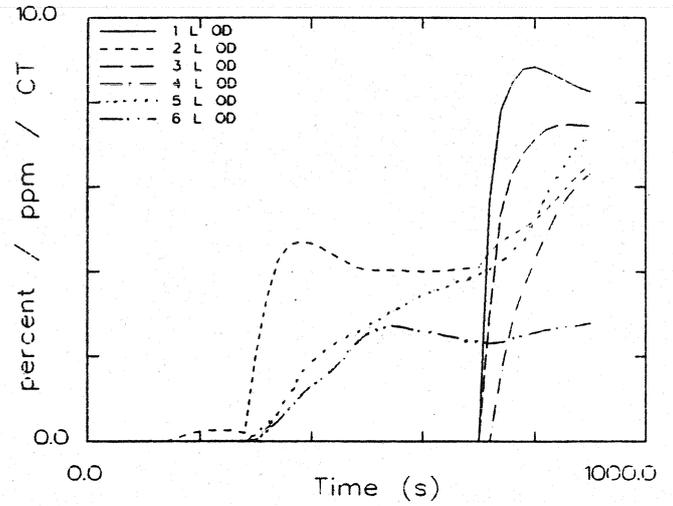
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

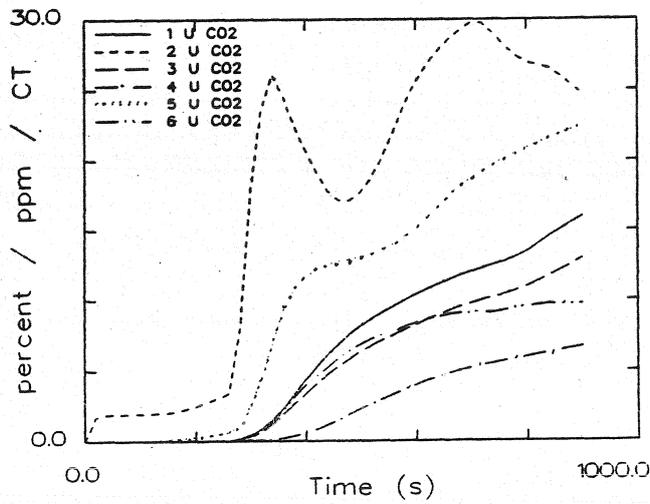


Energiefreisetzung

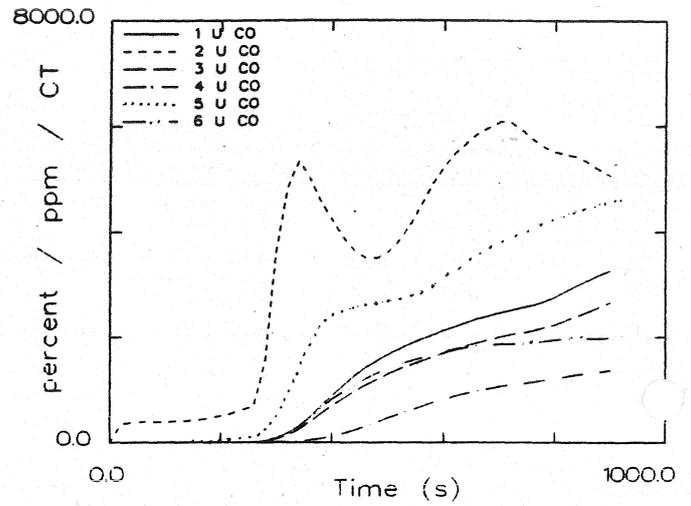


Optische Rauchdichte untere Schicht

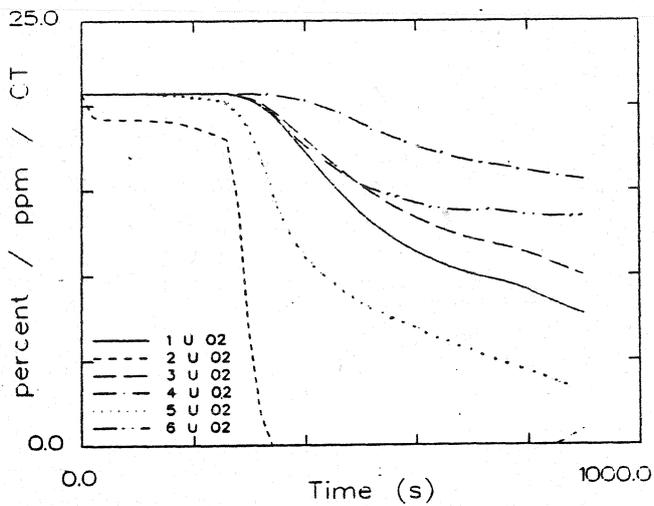
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



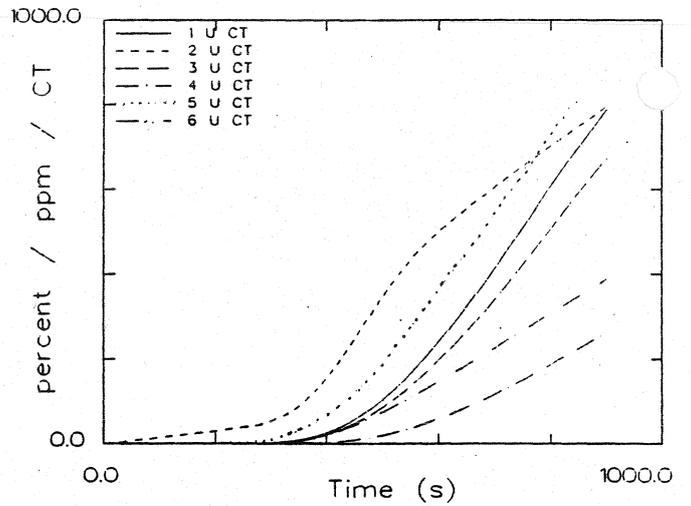
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

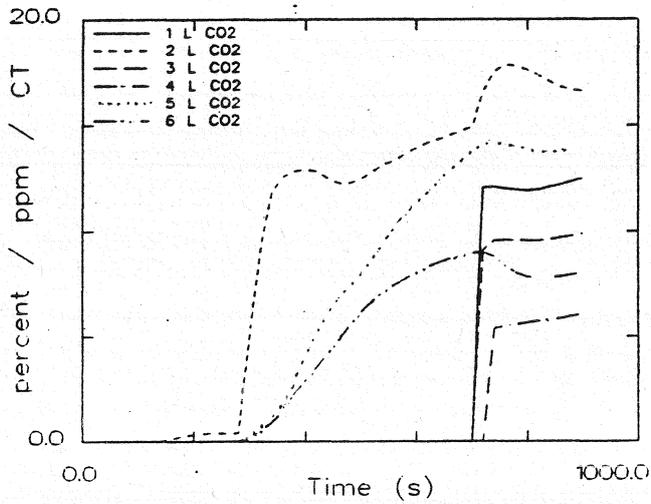


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

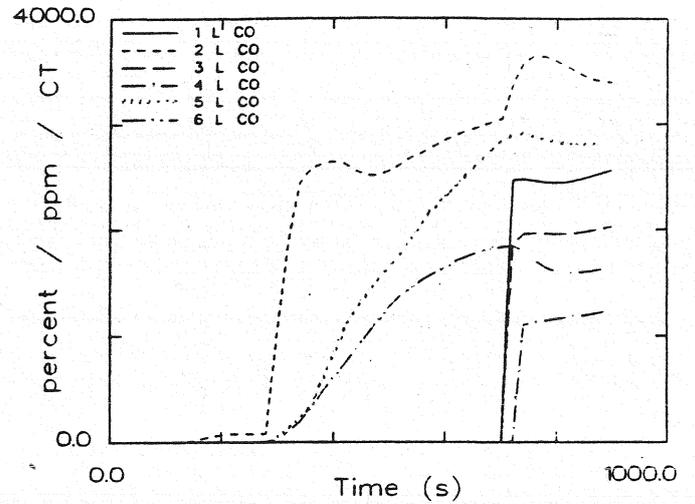


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

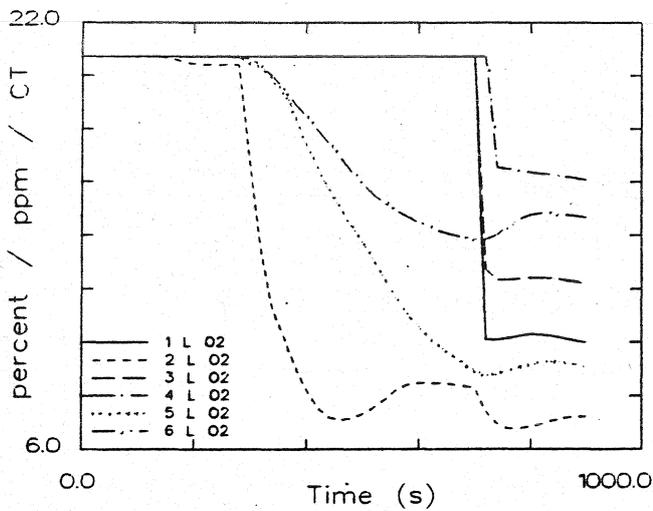
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



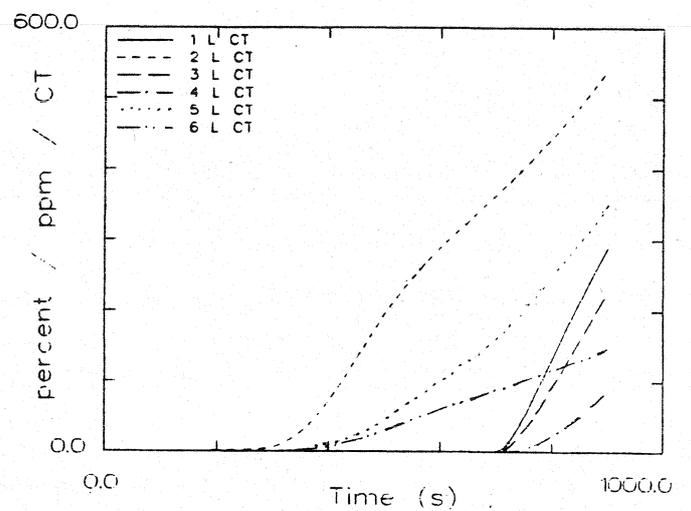
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

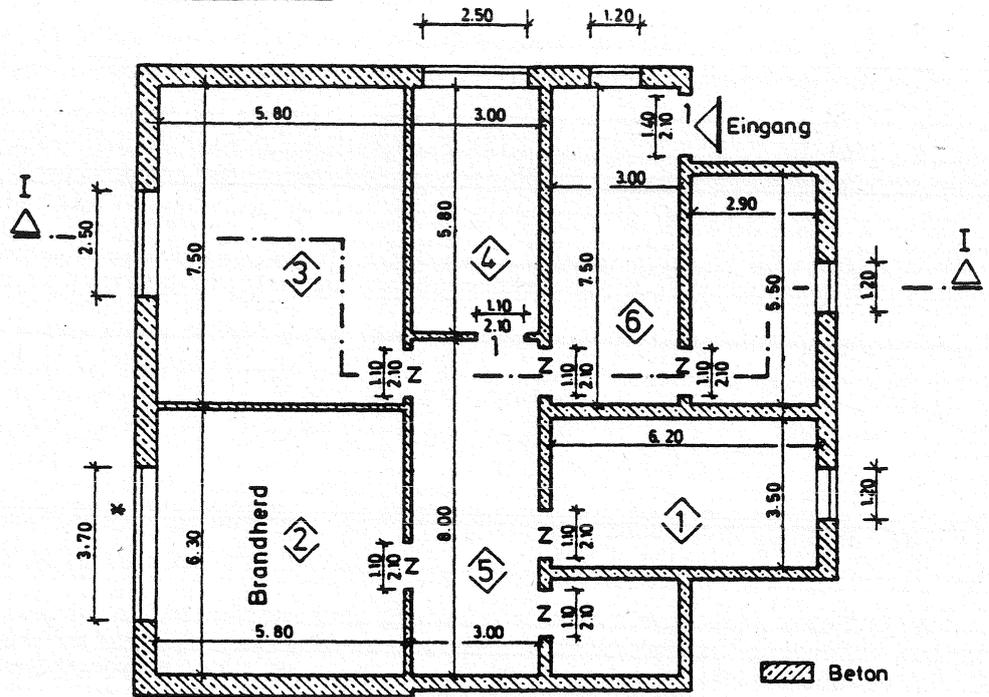


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

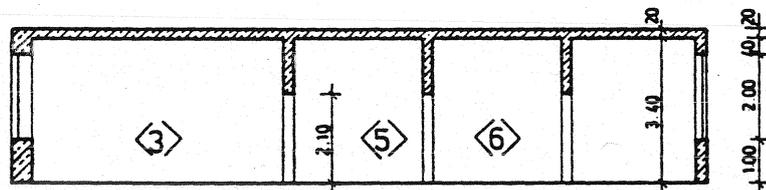
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR7

Grundriß 1



Schnitt I



- O = offen
- Z = zu
- 1 = 1% offen
- Δ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen
- \* = 260s 1% offen, dann 100% zu

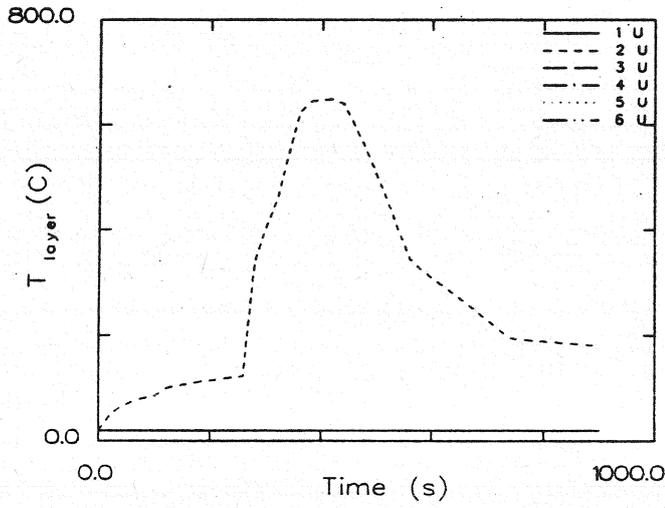
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

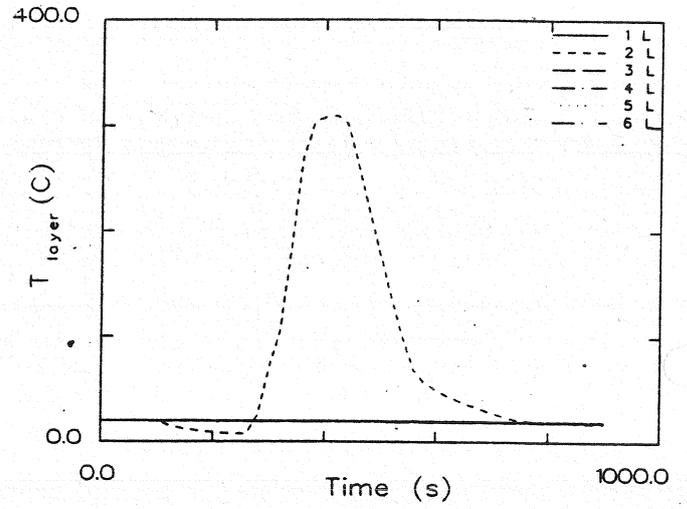
SCENARIO 3, HAAR EIN GEBOSS, FALL 7 FENSTER
VERSN 13
TIMES 900 50 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 273. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
WIDTH 6.20 6.30 7.50 5.30 3.00 7.50
DEPTH 3.50 5.80 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40
HVENT 1 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 1 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 2 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 6 7 2 1.40 2.10 0.00 0.00
CVENT 1 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 5 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 5 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 6 7 2 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CHELI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 100. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1779 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.31E+06
.31E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CF 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030 0.030
CG 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
CD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPP HAAPT.DMP

```

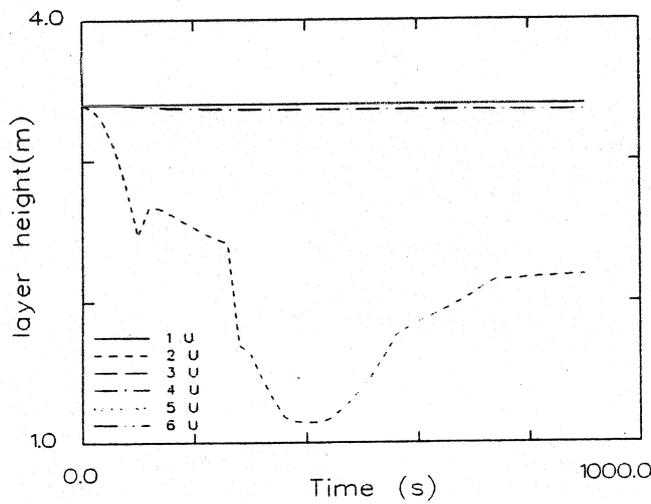
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



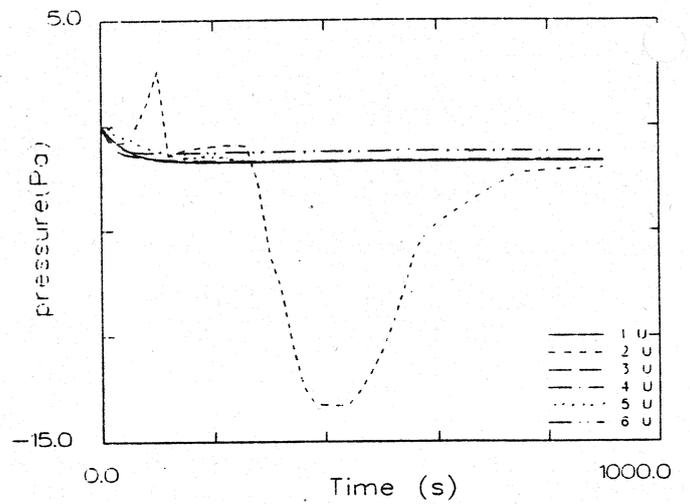
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

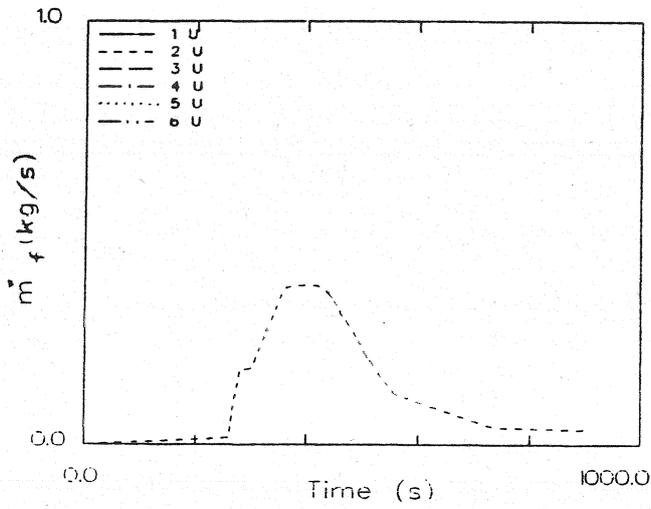


Dicke der rauchfreien Schicht

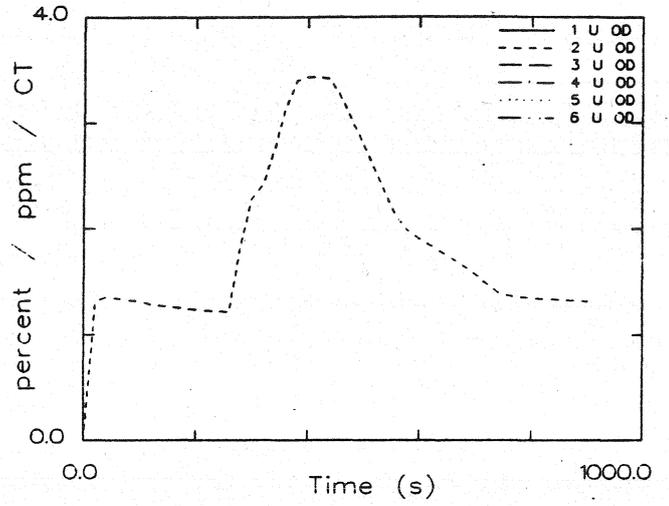


Druckänderung am Fußboden

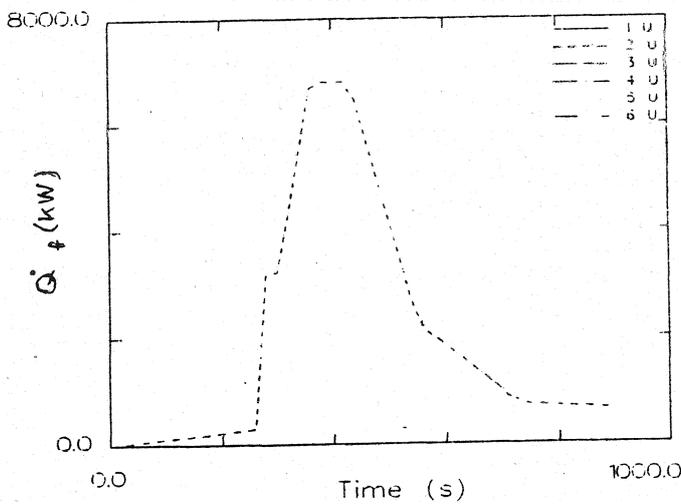
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



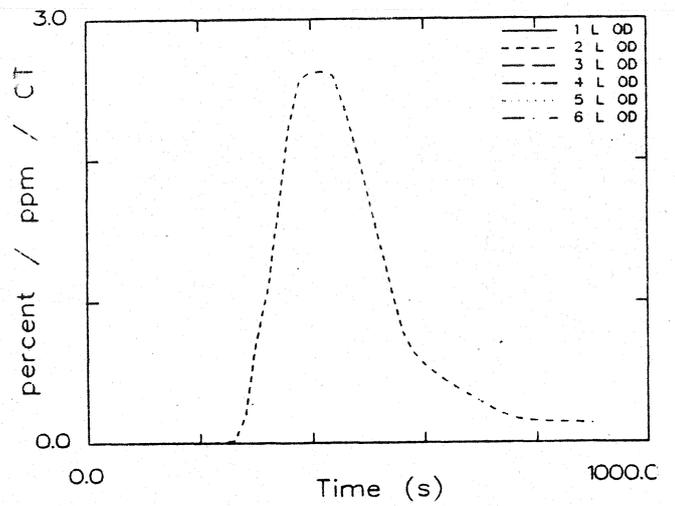
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

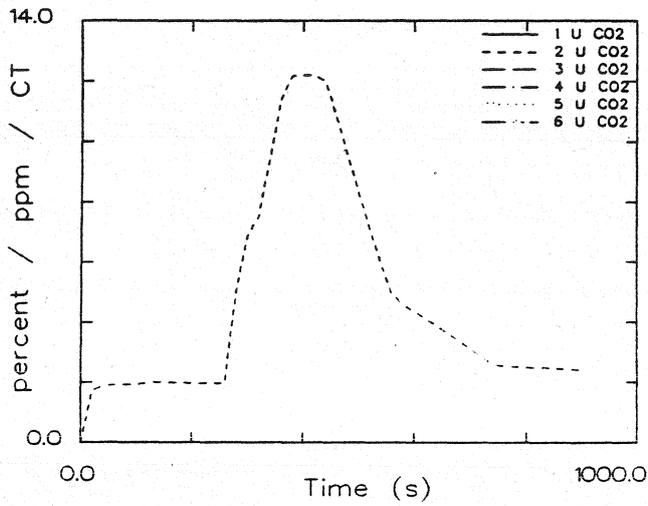


Energiefreisetzung

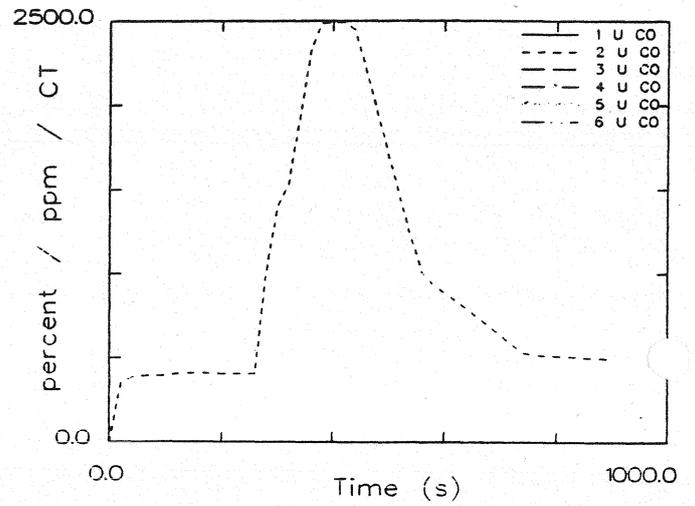


Optische Rauchdichte untere Schicht

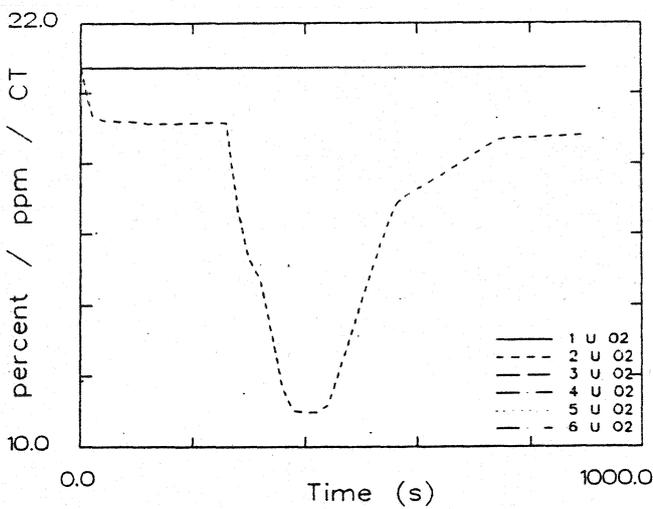
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



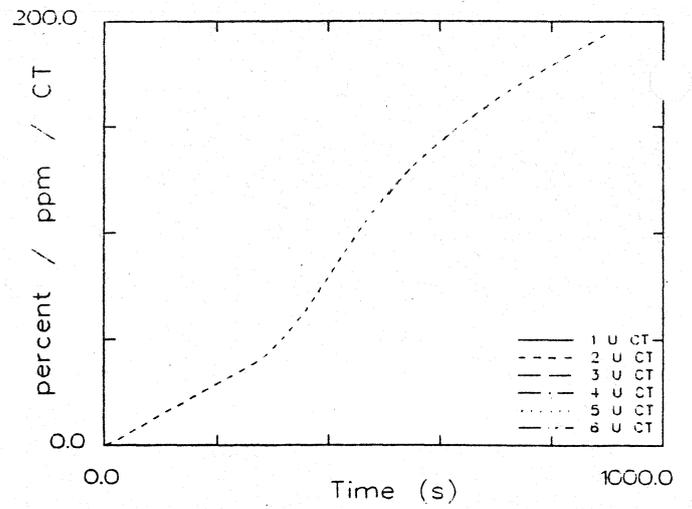
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

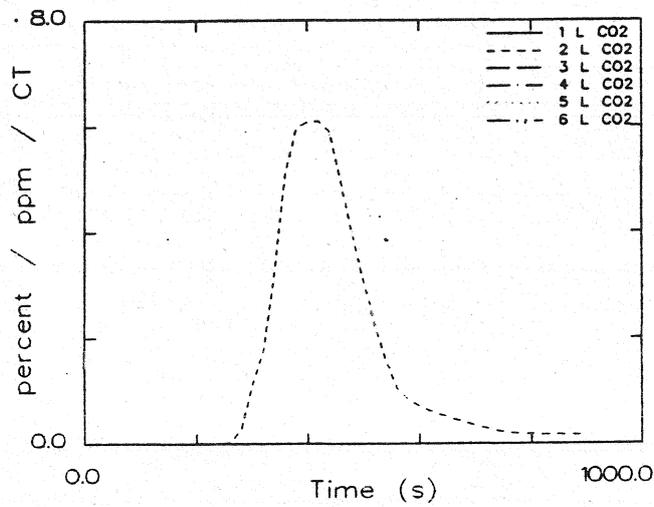


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

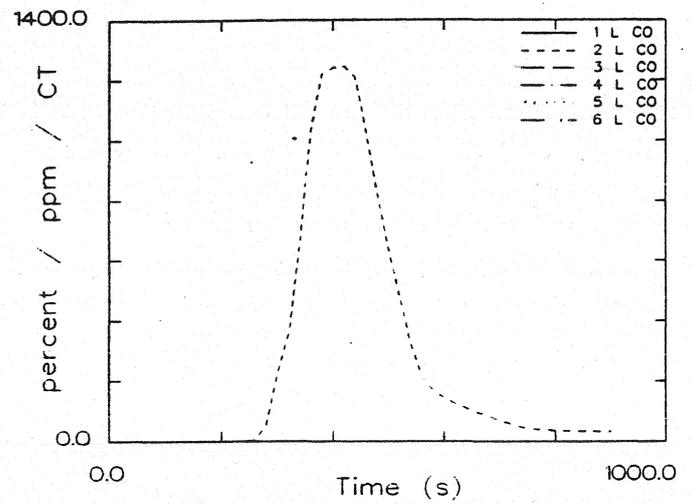


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

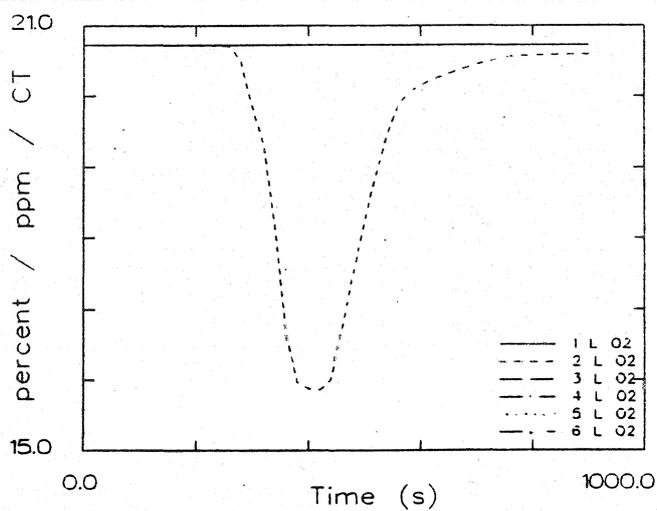
## Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



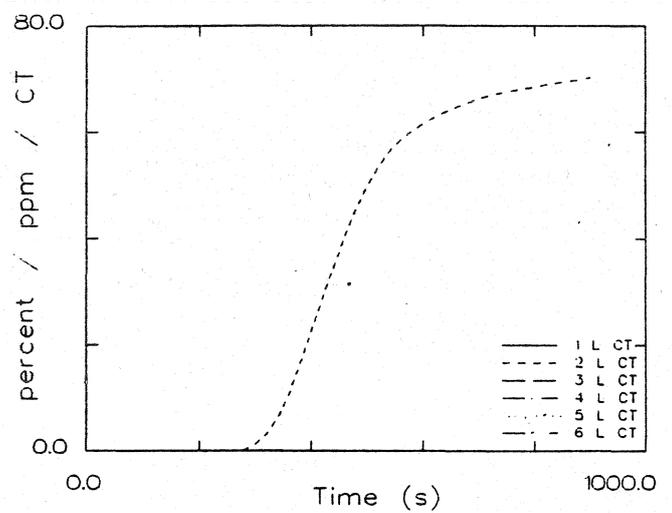
**CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**



**CO - Konzentration untere Schicht**



**O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht**

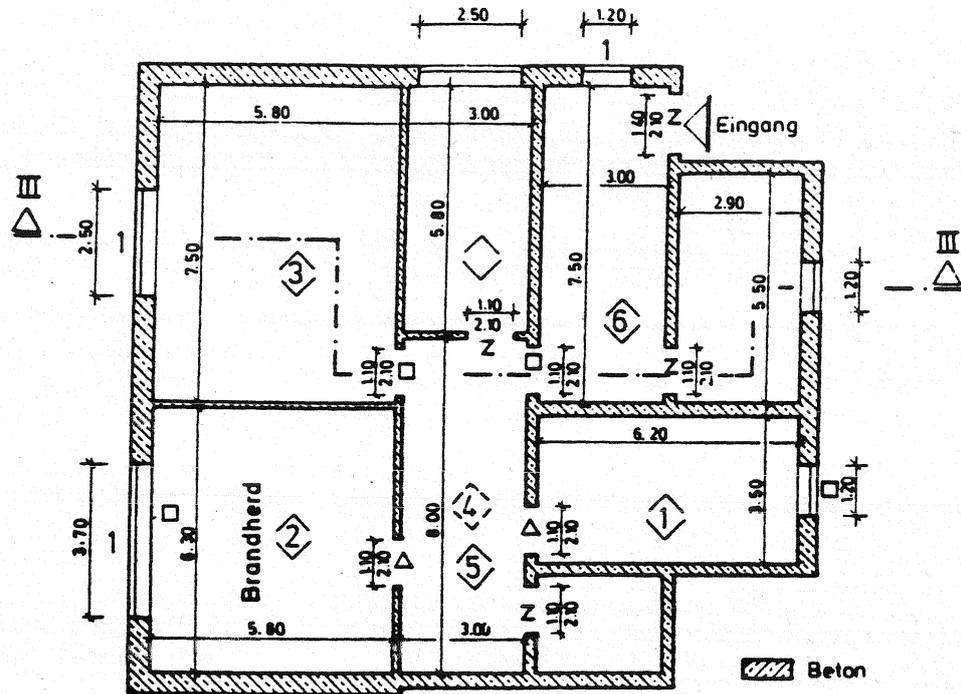


**Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht**

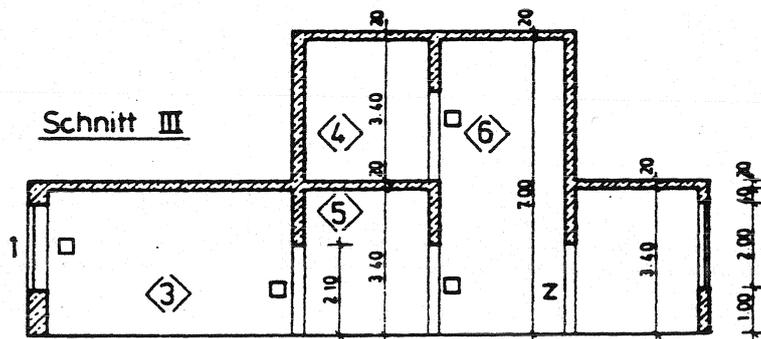
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR7 1

Grundriß 1



Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

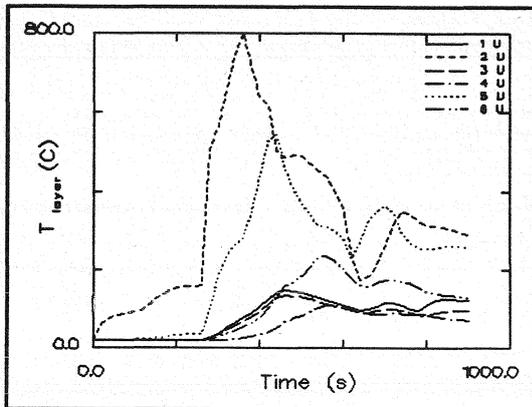
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

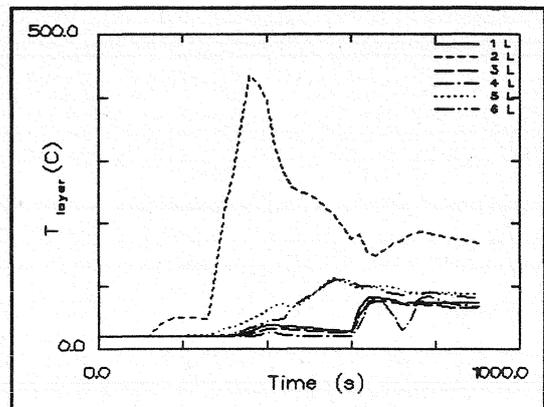
VERSN 18 HAAR zwei Geschosse Fall 7 zuerst alle Öfn. 1
TIMES 900 30 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 293. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 3.60 0.00 0.00
WIDTH 6.30 6.20 7.50 8.00 8.00 7.50
DEPTH 5.80 3.50 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 7.00
HVENT 1 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 1 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 2 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
CVENT 1 5 1 0.01 0.50 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
0.01 0.01 0.01
CVENT 3 5 1 0.01 0.00 0.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 6 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFBO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 98. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAREA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR71.DMP

```

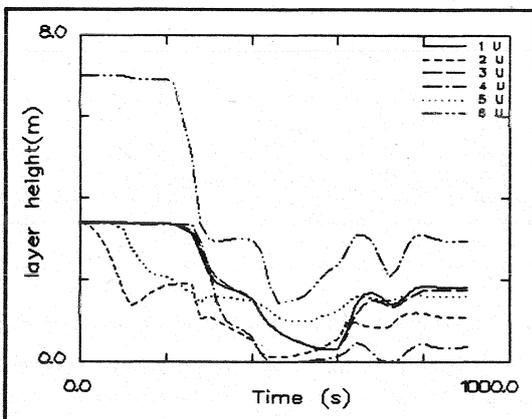
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



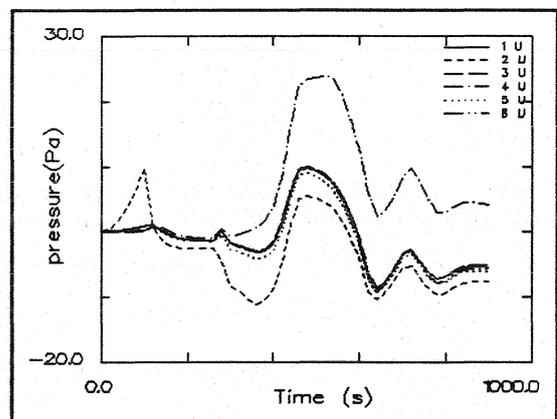
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

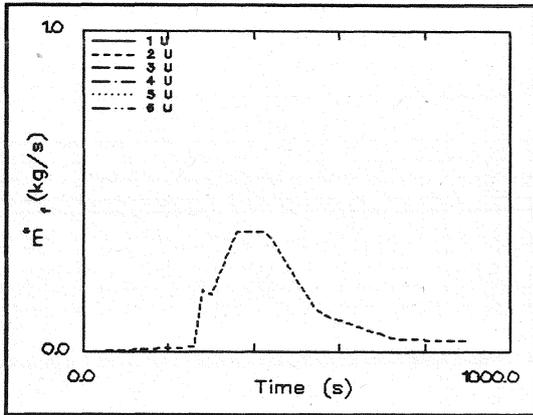


Dicke der rauchfreien Schicht

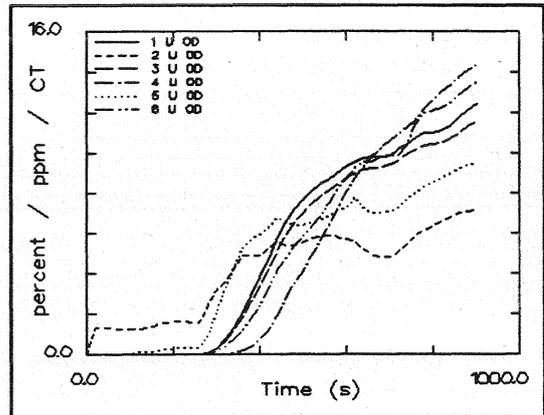


Druckänderung am Fußboden

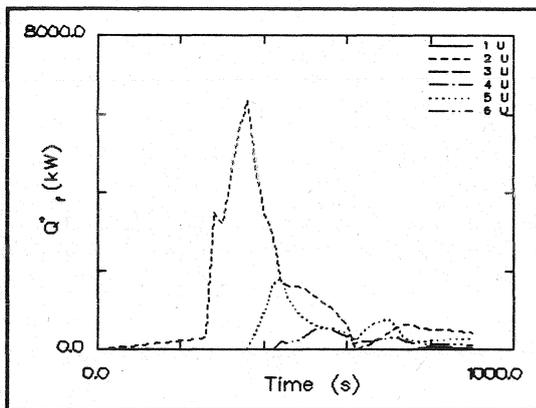
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



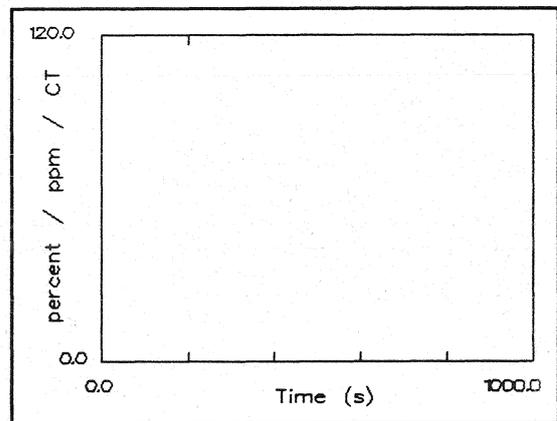
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

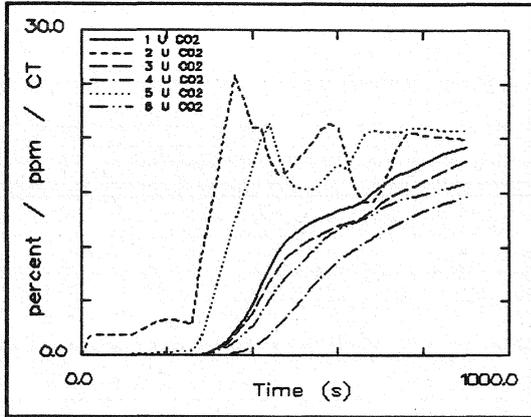


Energiefreisetzung

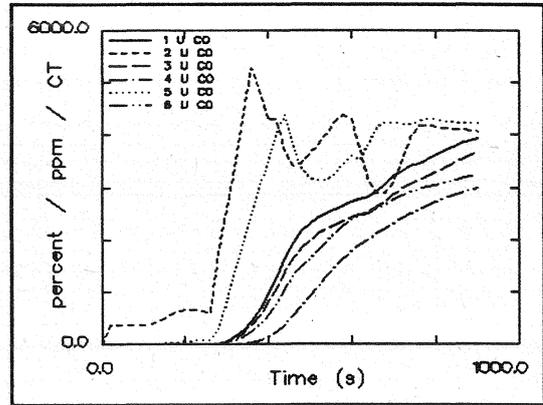


Optische Rauchdichte untere Schicht

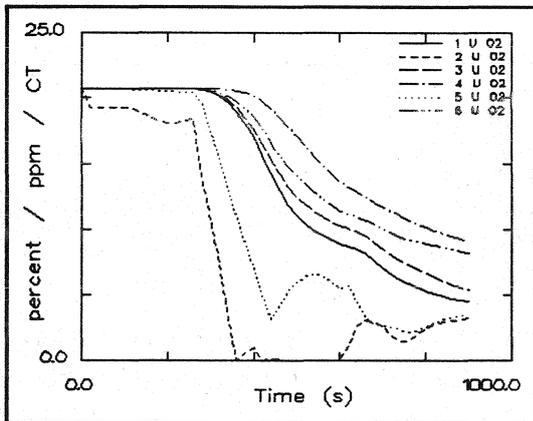
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



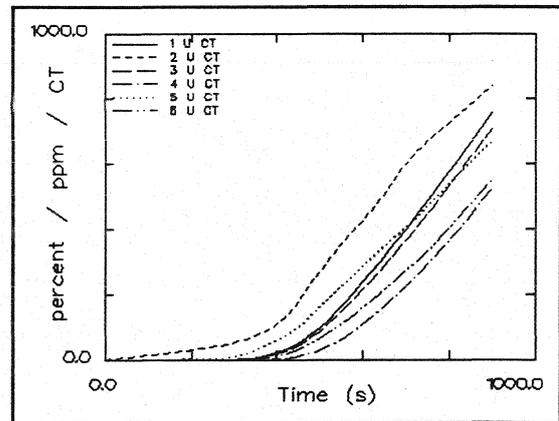
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

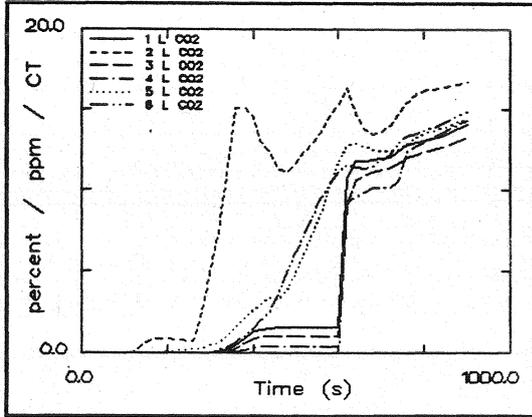


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

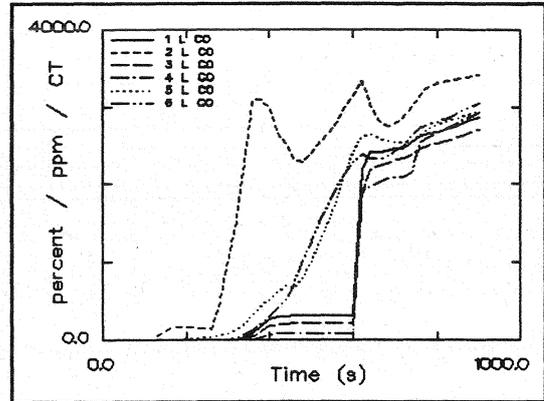


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

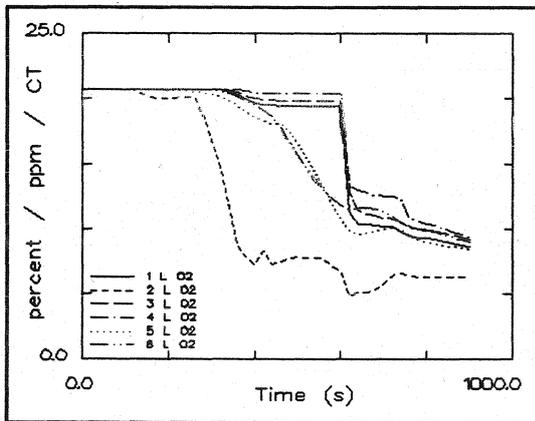
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



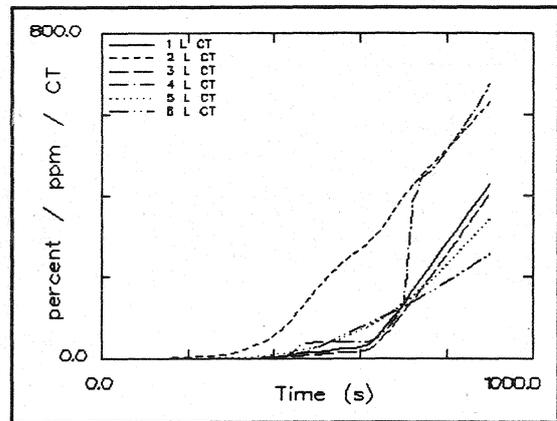
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

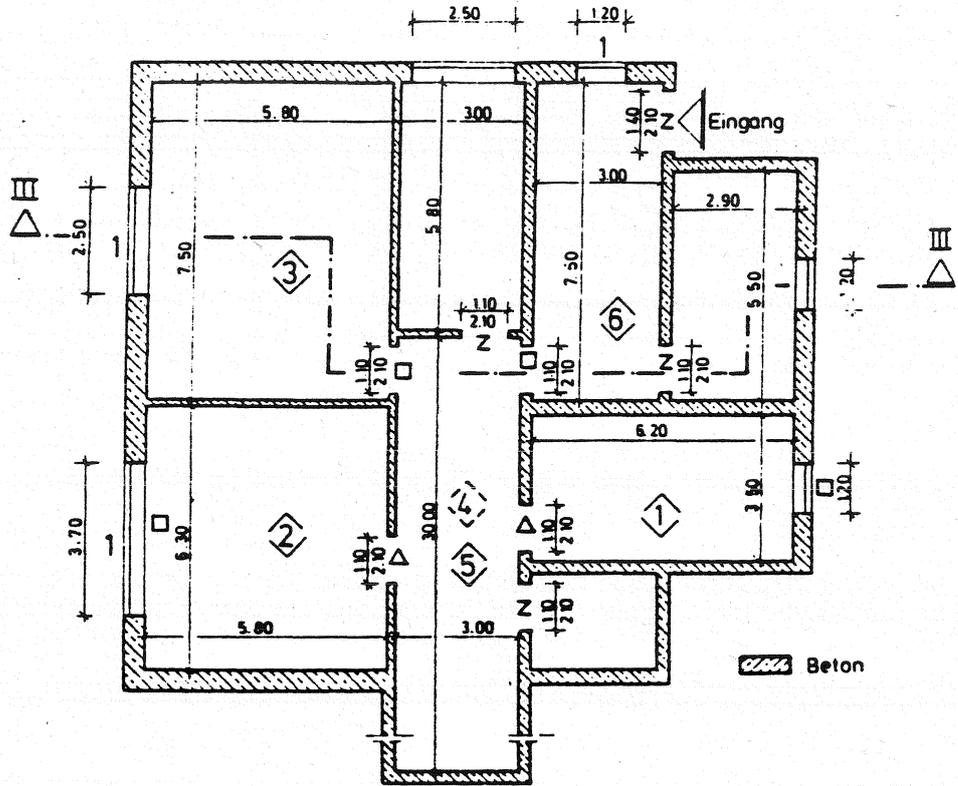


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

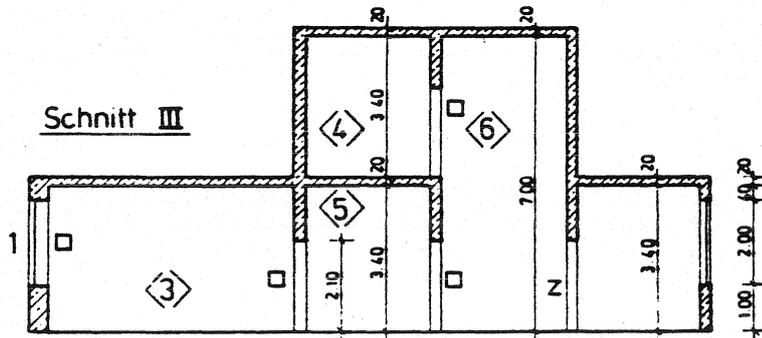
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR7L

Grundriß 2



Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- : = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

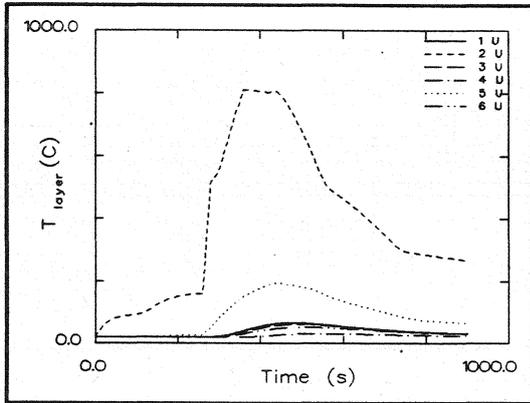
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

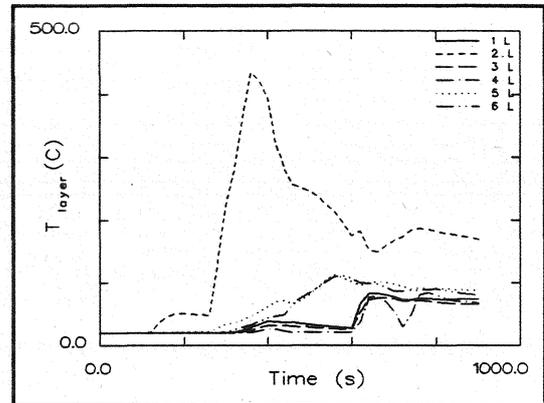
VERSN      18      HAAR7L zwei Geschosse      Fall 7
TIMES      900    30 20      0 0
TAMB      293.   101300.      0.
EAMB      293.   101300.      0.
HI/F       0.00    0.00    0.00    3.60    0.00    0.00
WIDTH      6.30    6.20    7.50    8.00   30.00    7.50
DEPTH      5.80    3.50    5.90    3.00    3.00    3.00
HEIGH      3.40    3.40    3.40    3.40    3.40    7.00
HVENT      1 5 1    1.10    2.10    0.00
HVENT      1 7 1    3.70    3.00    1.00    0.00
HVENT      2 5 1    1.10    2.00    0.00
HVENT      2 7 1    1.20    3.00    1.00    0.00
HVENT      3 5 1    1.00    2.10    0.00
HVENT      3 7 1    2.50    3.00    1.00    0.00
HVENT      4 6 1    1.10    2.10    0.00
HVENT      4 7 1    2.50    3.00    1.00    0.00
HVENT      5 6 1    1.10    2.10    0.00
HVENT      6 7 1    1.20    3.00    1.00    0.00
CVENT      1 5 1    0.01    0.50    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      1 7 1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT      2 5 1    0.01    0.01    0.01    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      2 7 1    0.01    0.01    0.01    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      3 5 1    0.01    0.00    0.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      3 7 1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT      4 6 1    0.01    0.01    0.01    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      4 7 1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CVENT      5 6 1    0.01    0.01    0.01    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00    1.00
1.00    1.00    1.00
CVENT      6 7 1    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01    0.01
0.01    0.01    0.01
CELLI      CONCRETE  CONCPETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
WALLS      CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
FLOOR      CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE  CONCRETE
CHEMI      0.      0.      6.0      18100000.  300.
LFBO       2
LFBT       2
LFPOS      1
LFMAX      11
FTIME      98.      2.      158.      2.      20.      20.      60.      70.      120.      180.
70.
FMASS      0.0000  0.0063  0.0063  0.0165  0.0165  0.1930  0.1770  0.3760  0.3760  0.1220  0.
410 0.0165
FHIGH      0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00    0.00
.00 0.00
FAREA      0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50    0.50
.50 0.50
FQDOT      0.00      1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT         1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000  1.000
HCR        0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080  0.080
CO         0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
OD         0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013  0.013
NUMPR      HAAR71.DMP

```

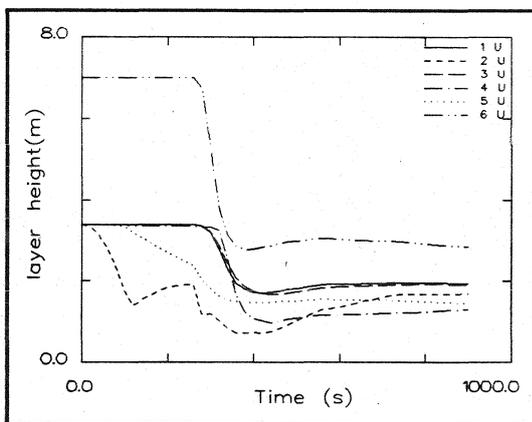
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



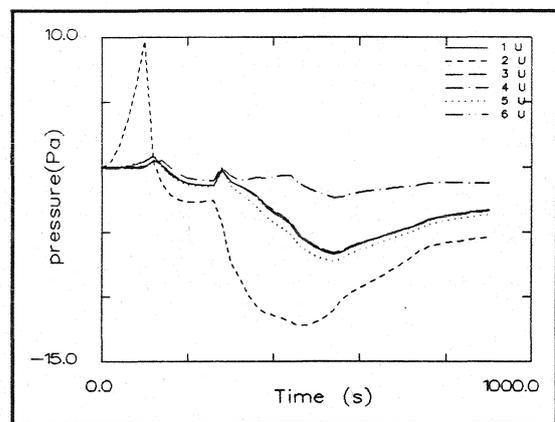
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

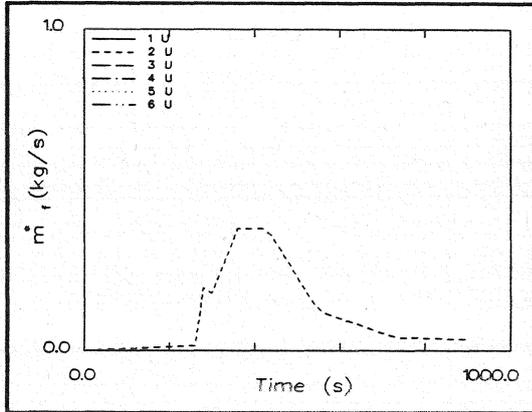


Dicke der rauchfreien Schicht

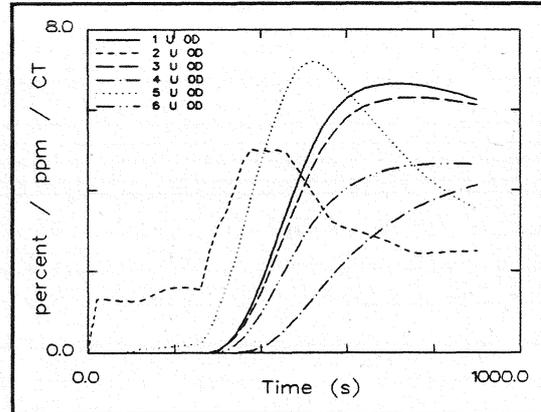


Druckänderung am Fußboden

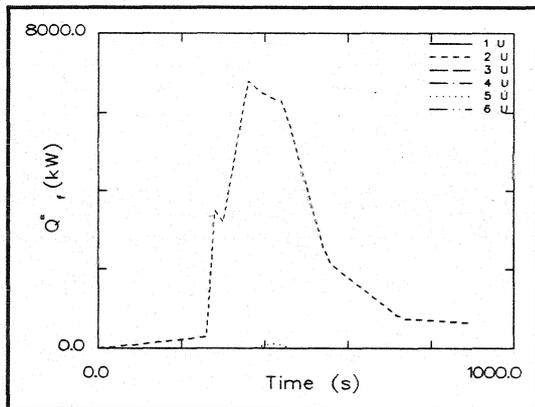
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



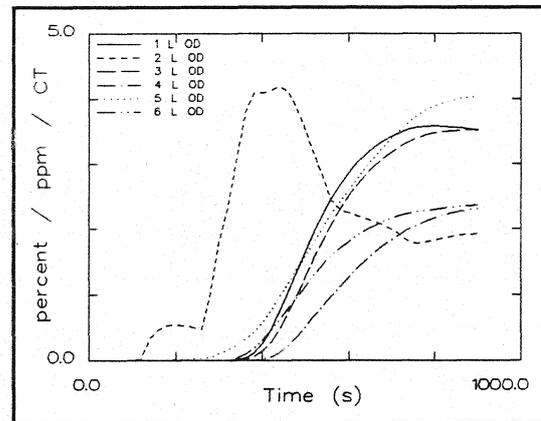
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

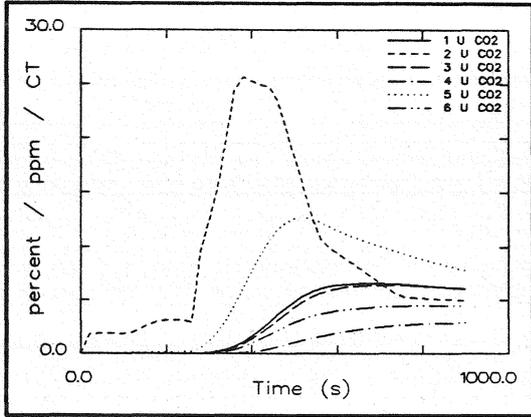


Energiefreisetzung

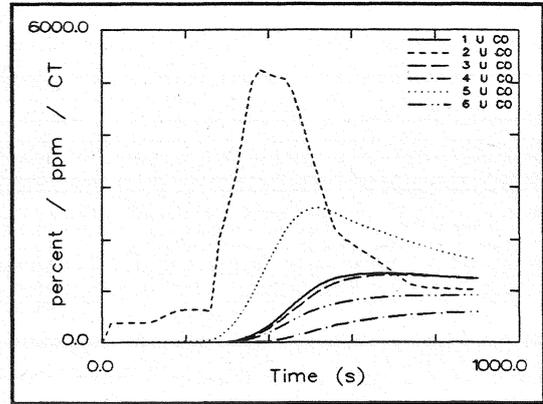


Optische Rauchdichte untere Schicht

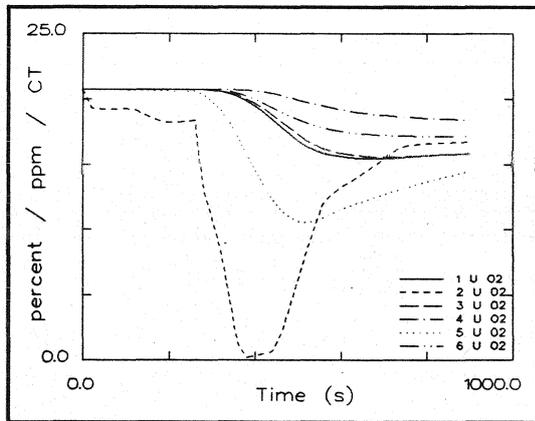
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



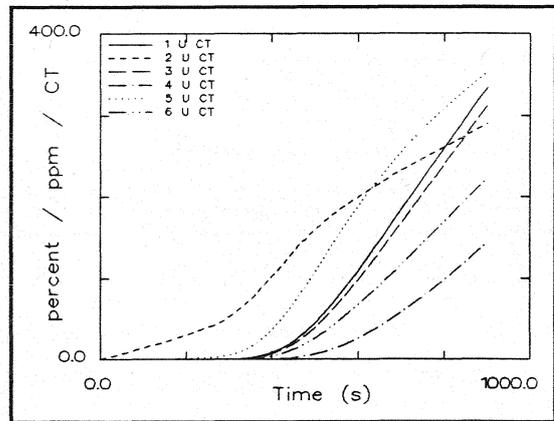
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

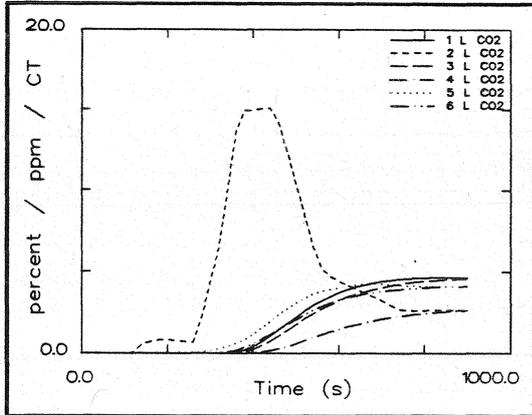


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

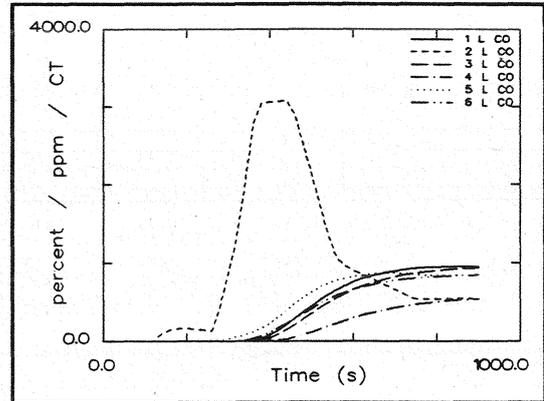


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

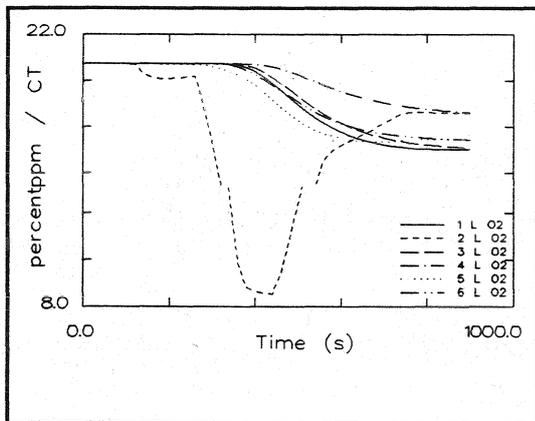
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



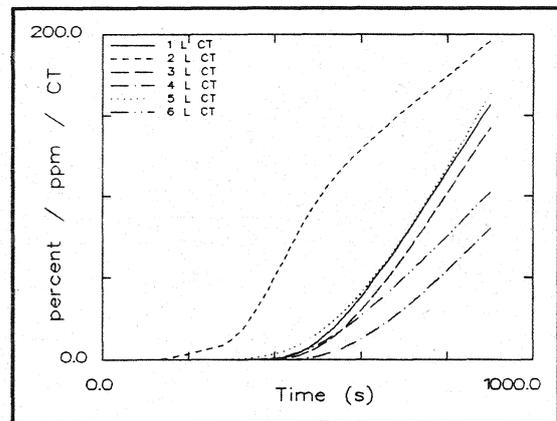
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht



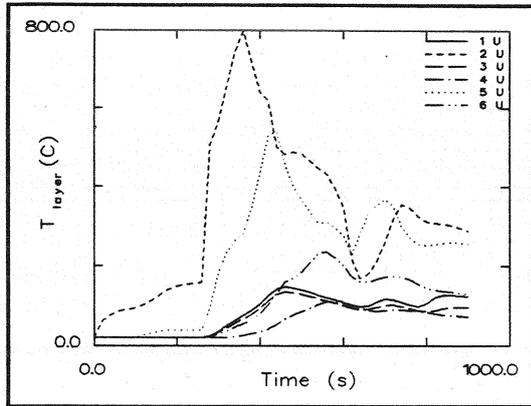
Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

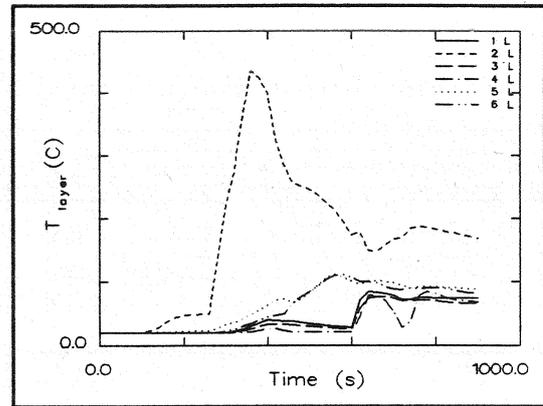
VEPSH 18 HAAR zwei Geschosse Fall 8 alle Öffn.
TIMES 900 30 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 293. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 3.60 0.00 0.00
WIDTH 6.30 6.20 7.50 8.00 8.00 7.50
DEPTH 5.80 3.50 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 7.00
HVENT 1 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 1 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 2 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
CVENT 1 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 3 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFRO 2
LFBT 2
LFPOS 1
LFMAX 11
FTIME 98. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAPEA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCR 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMPR HAAR81.DMP

```

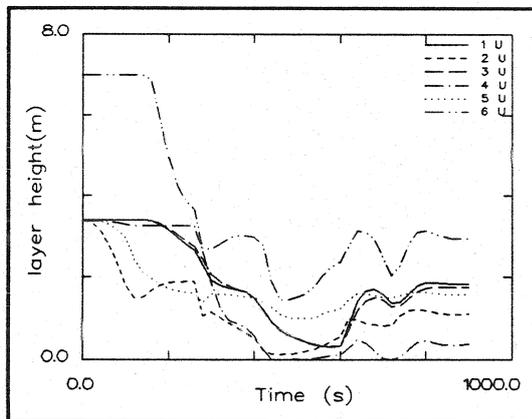
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



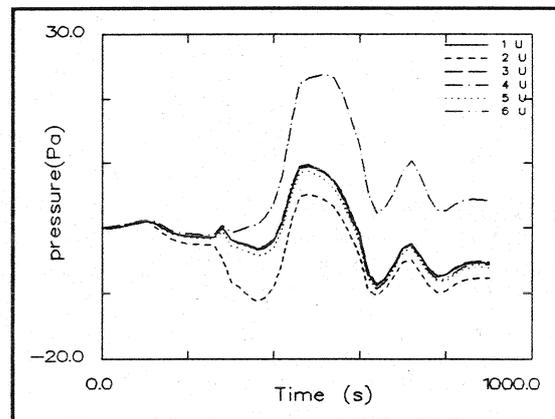
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

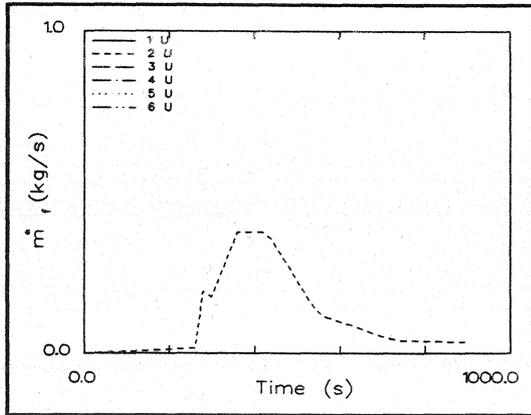


Dicke der rauchfreien Schicht

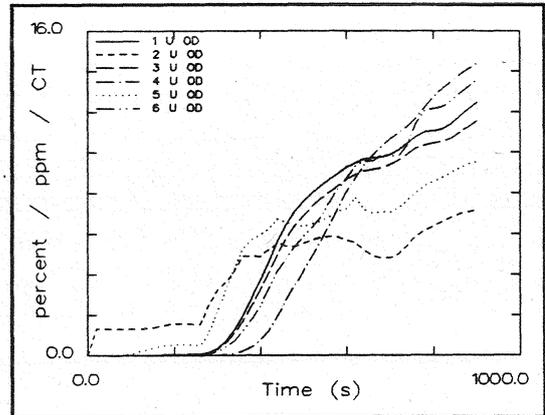


Druckänderung am Fußboden

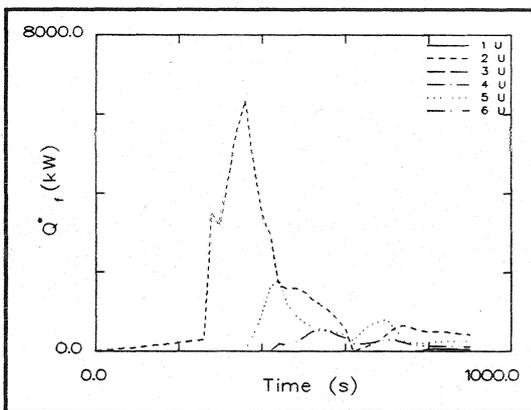
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



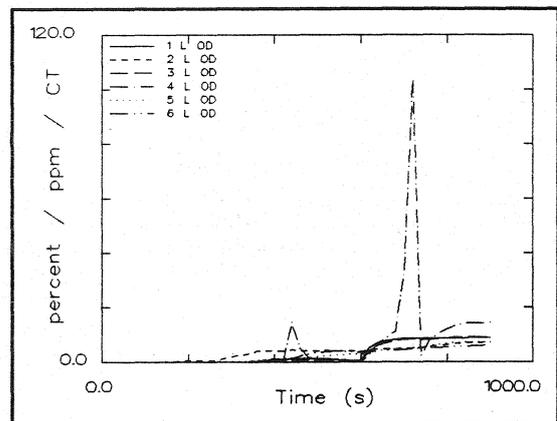
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

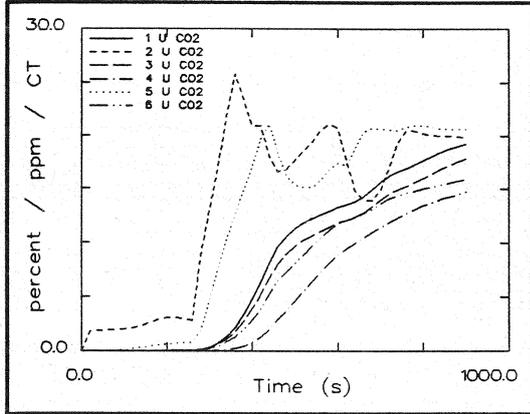


Energiefreisetzung

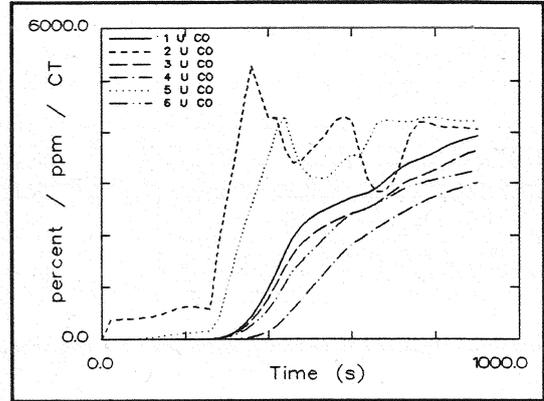


Optische Rauchdichte untere Schicht

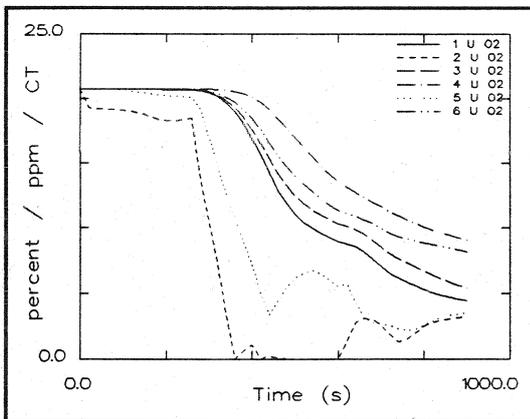
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



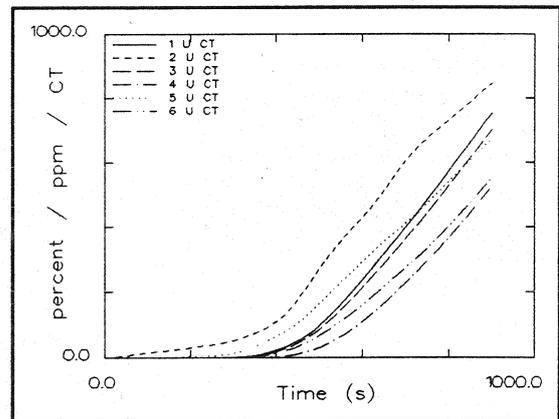
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

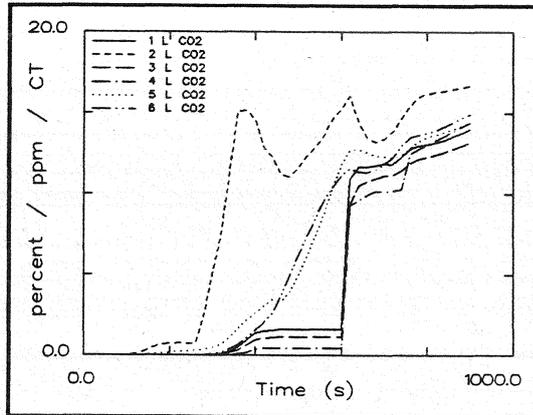


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

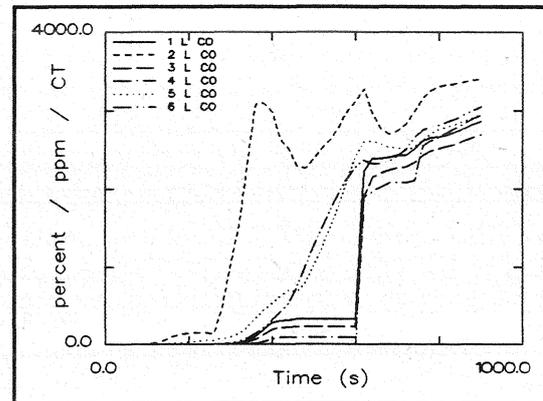


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

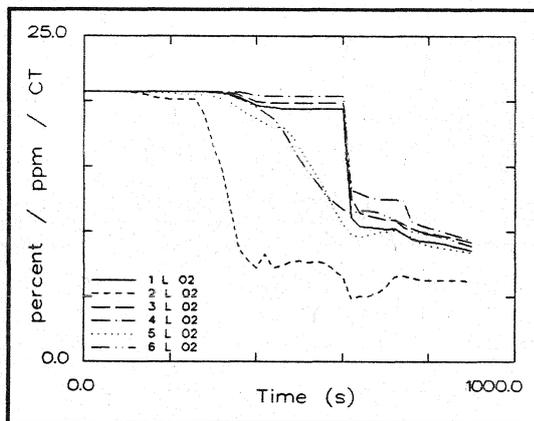
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



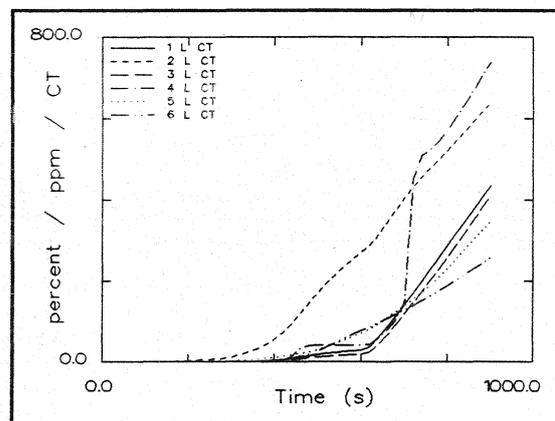
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht

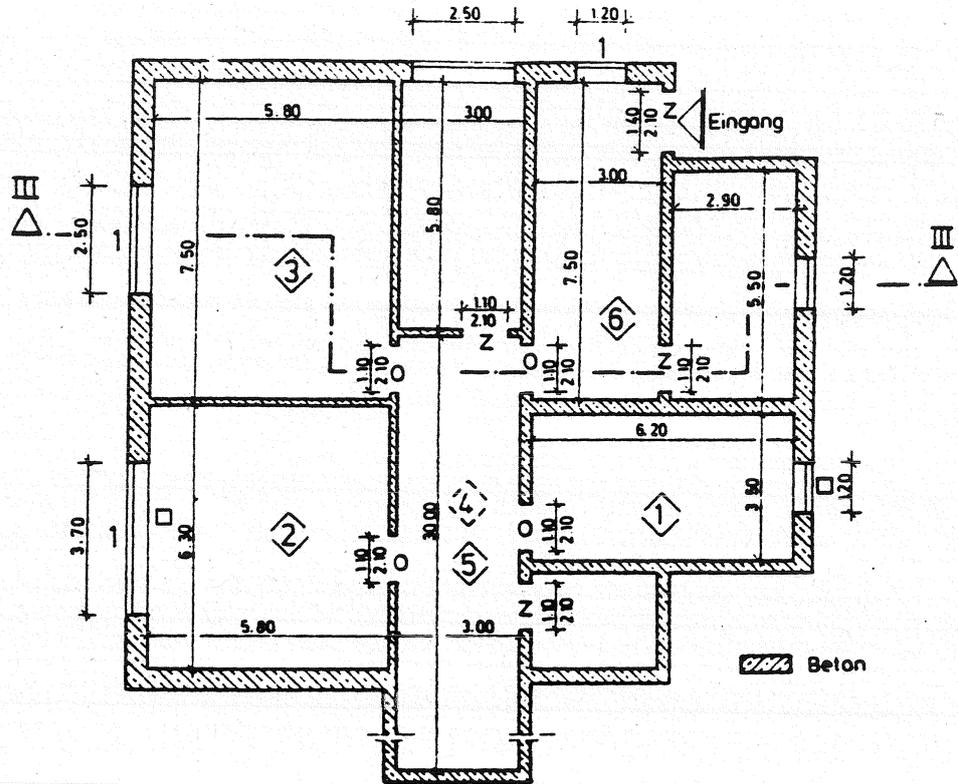


Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

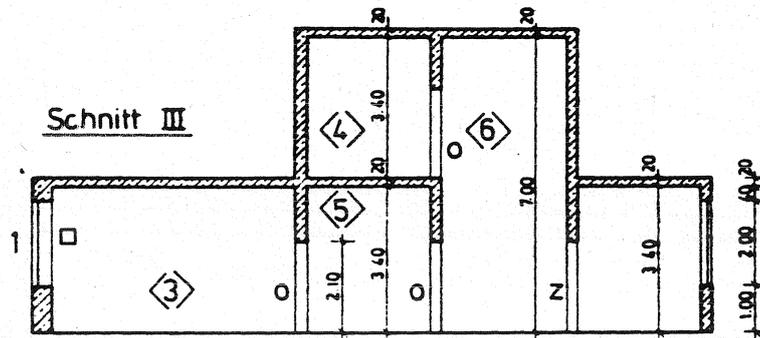
Systemübersicht für Berechnungen

# HAARSL

Grundriß 2



Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- l = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

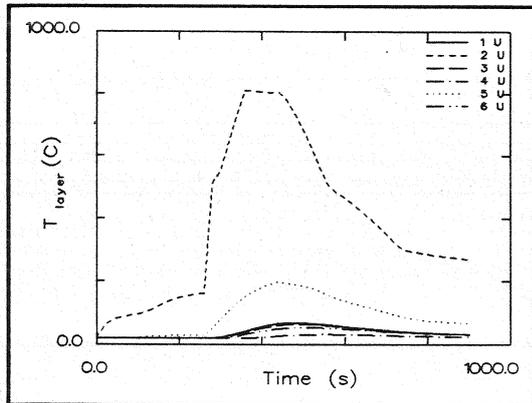
### Datensatz für Berechnungen mit FAST

```

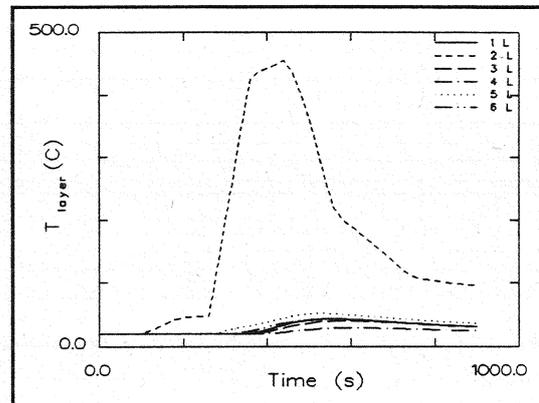
VERSU 18 HAAR zwei Geschosse Fall 8 l. alle Ofn.
TIMES 900 30 20 0 0
TAMB 293. 101300. 0.
EAMB 293. 101300. 0.
HI/F 0.00 0.00 0.00 3.60 0.00 0.00
WIDTH 6.30 6.20 7.50 8.00 30.00 7.50
DEPTH 5.80 3.50 5.90 3.00 3.00 3.00
HEIGH 3.40 3.40 3.40 3.40 3.40 7.00
HVENT 1 5 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 1 7 1 3.70 3.00 1.00 0.00
HVENT 2 5 1 1.10 2.00 0.00
HVENT 2 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
HVENT 3 5 1 1.00 2.10 0.00
HVENT 3 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 4 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 4 7 1 2.50 3.00 1.00 0.00
HVENT 5 6 1 1.10 2.10 0.00
HVENT 6 7 1 1.20 3.00 1.00 0.00
CVENT 1 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 1 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 2 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 2 7 1 0.01 0.01 0.01 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 5 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 3 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 4 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 4 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CVENT 5 6 1 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
1.00 1.00 1.00
CVENT 6 7 1 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01
0.01 0.01 0.01
CEILI CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
WALLS CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
FLOOR CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE CONCRETE
CHEMI 0. 0. 6.0 18100000. 300.
LFRO 2
LFRT 2
LFFOS 1
LFMAX 11
FTIME 98. 2. 158. 2. 20. 20. 60. 70. 120. 180.
70.
FMASS 0.0000 0.0063 0.0063 0.0165 0.0165 0.1930 0.1770 0.3760 0.3760 0.1220 0.
410 0.0165
FHIGH 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
.00 0.00
FAPEA 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50 0.50
.50 0.50
FQDOT 0.00 1.15E+05 1.15E+05 2.99E+05 2.99E+05 3.49E+06 3.20E+06 6.81E+06
.81E+06 2.21E+06 7.42E+05 2.99E+05
CT 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
HCP 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080 0.080
CO 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
OD 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013 0.013
DUMFR HAAR81.DMF

```

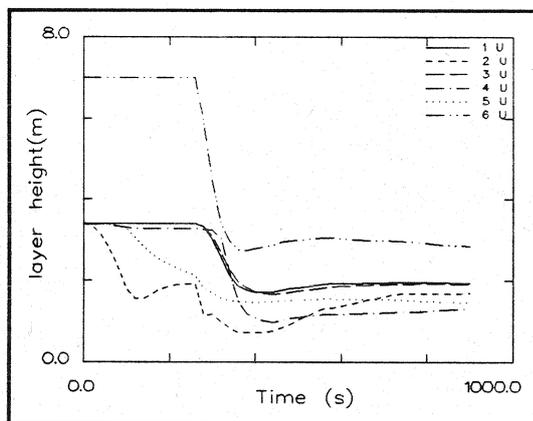
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



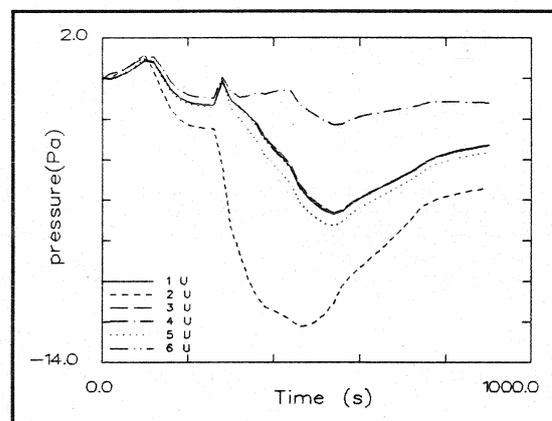
Temperatur der Heißgasschicht



Temperatur der unteren Schicht

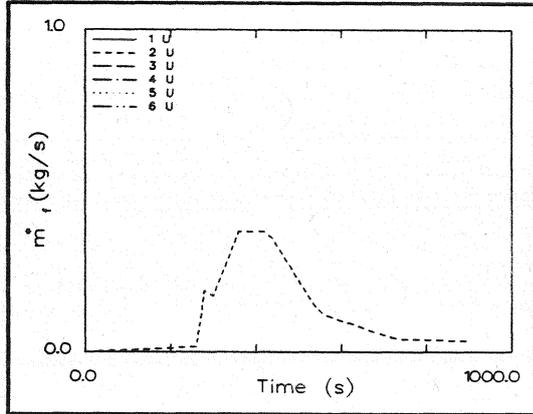


Dicke der rauchfreien Schicht

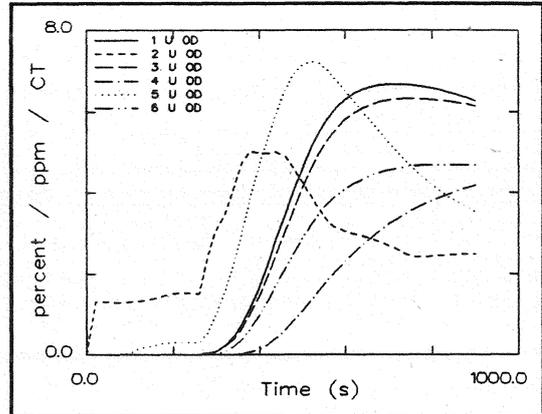


Druckänderung am Fußboden

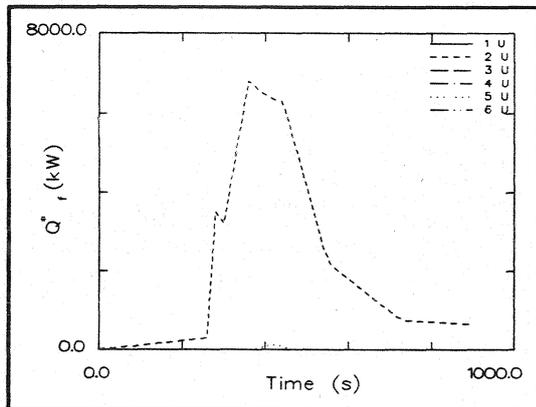
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



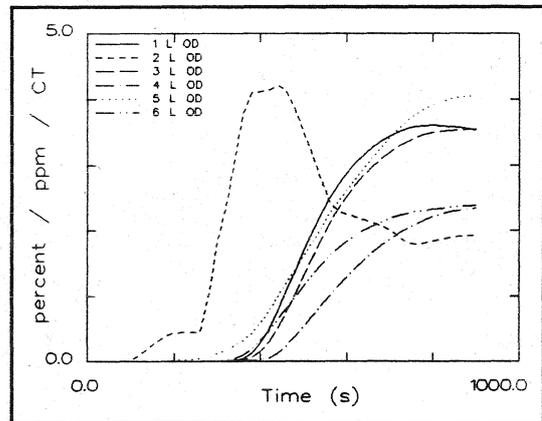
Abbrandrate



Optische Rauchdichte obere Schicht

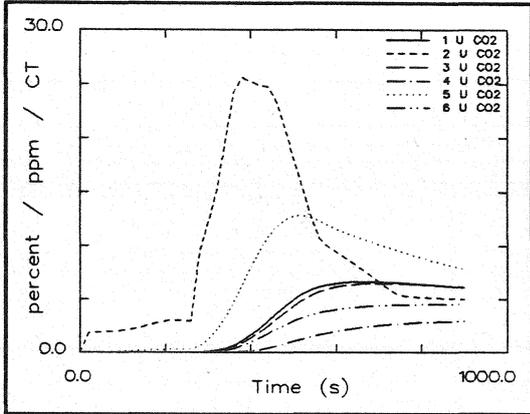


Energiefreisetzung

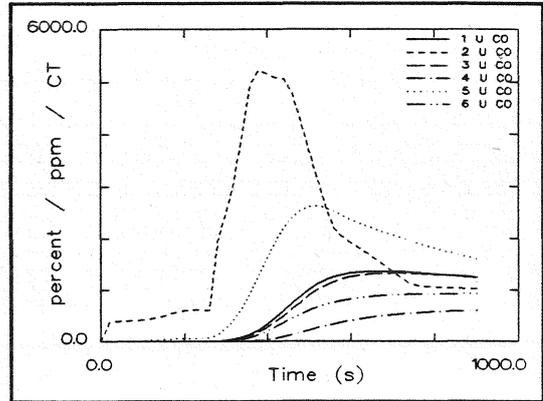


Optische Rauchdichte untere Schicht

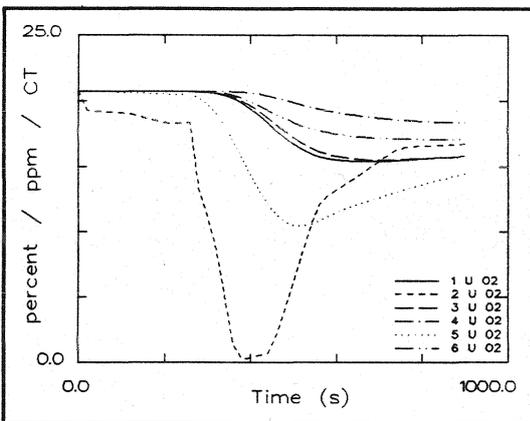
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



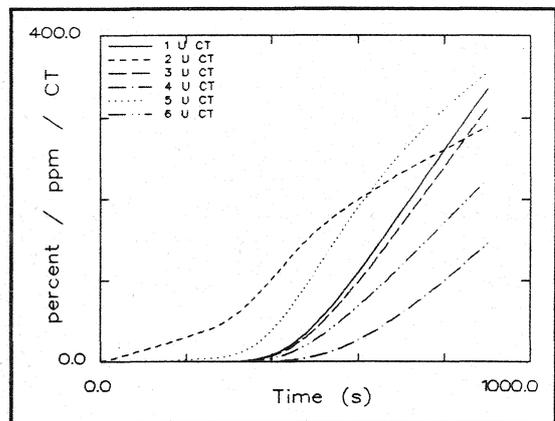
CO<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht



CO - Konzentration obere Schicht

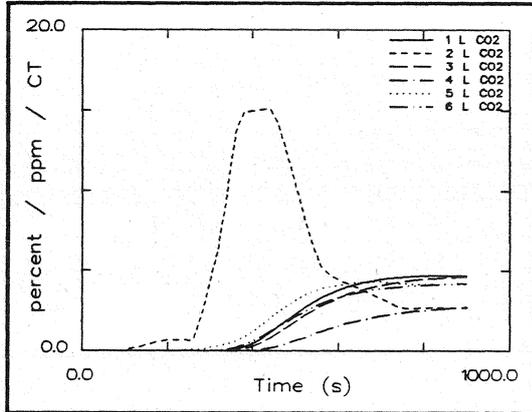


O<sub>2</sub> - Konzentration obere Schicht

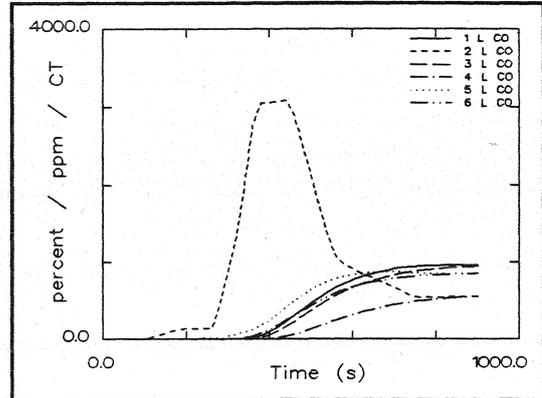


Konzentration toxischer Stoffe obere Schicht

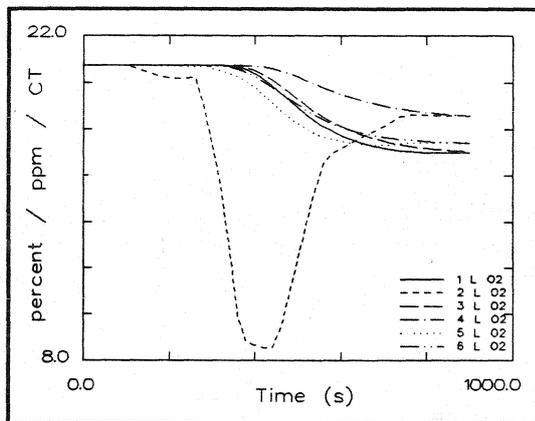
Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung mit FAST



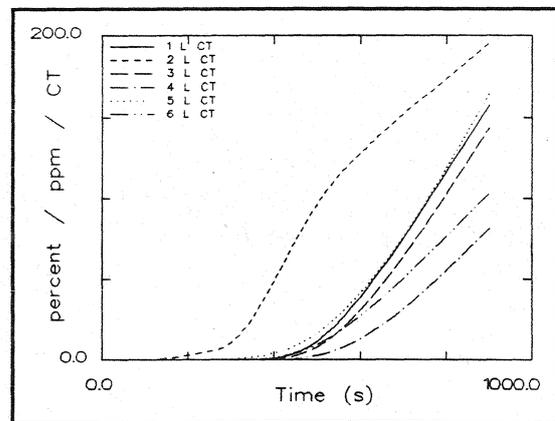
CO<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



CO - Konzentration untere Schicht



O<sub>2</sub> - Konzentration untere Schicht



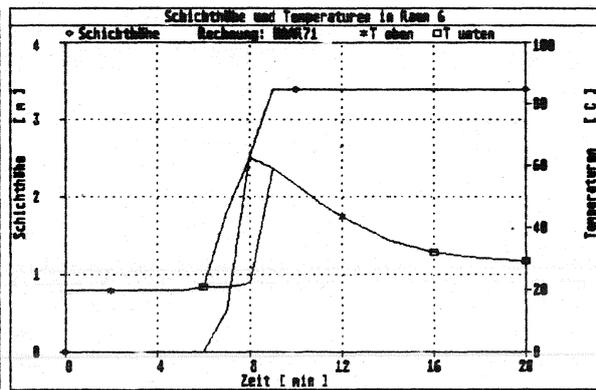
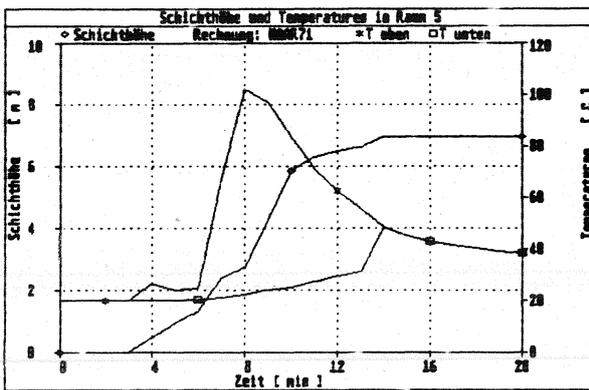
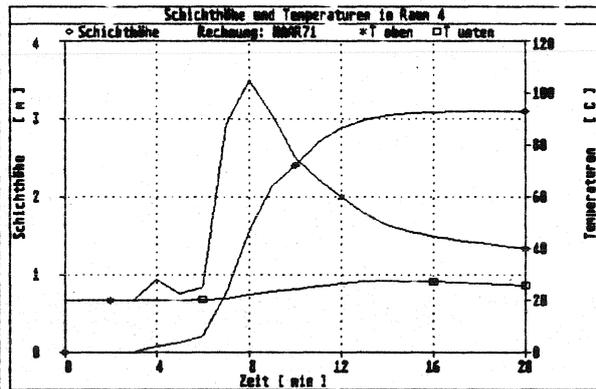
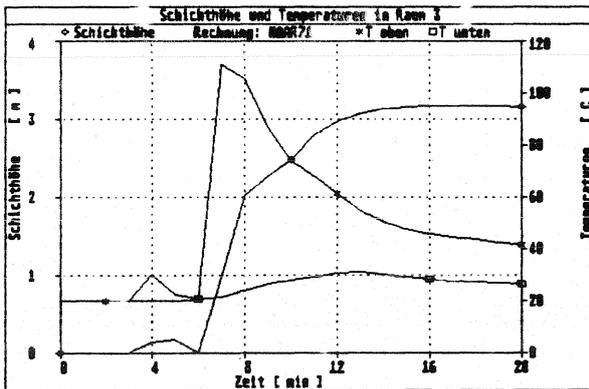
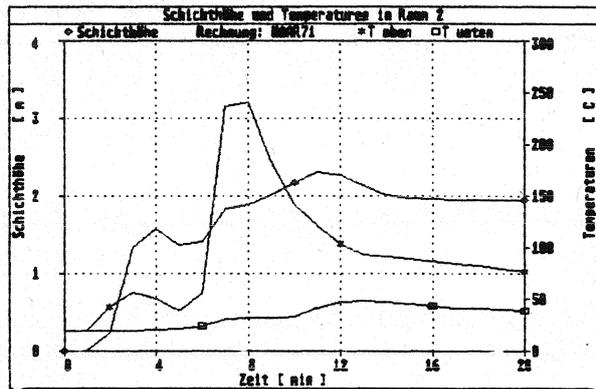
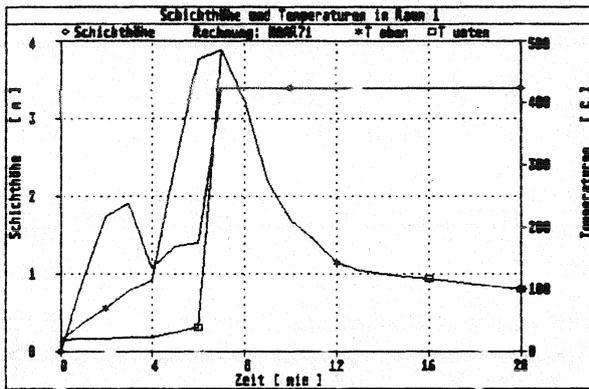
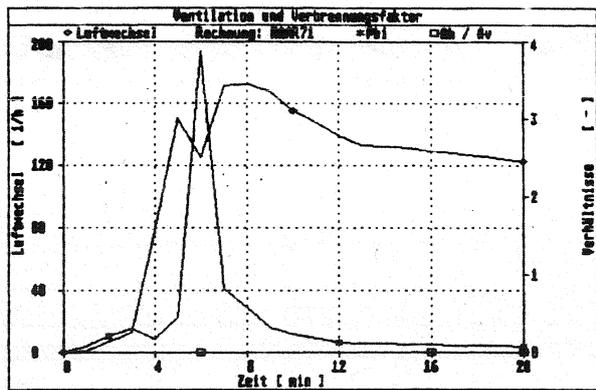
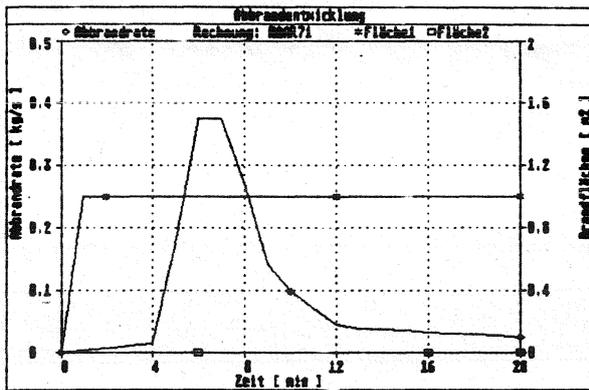
Konzentration toxischer Stoffe untere Schicht

## **Anlagen 3**

### **Berechnungen mit M R F C**



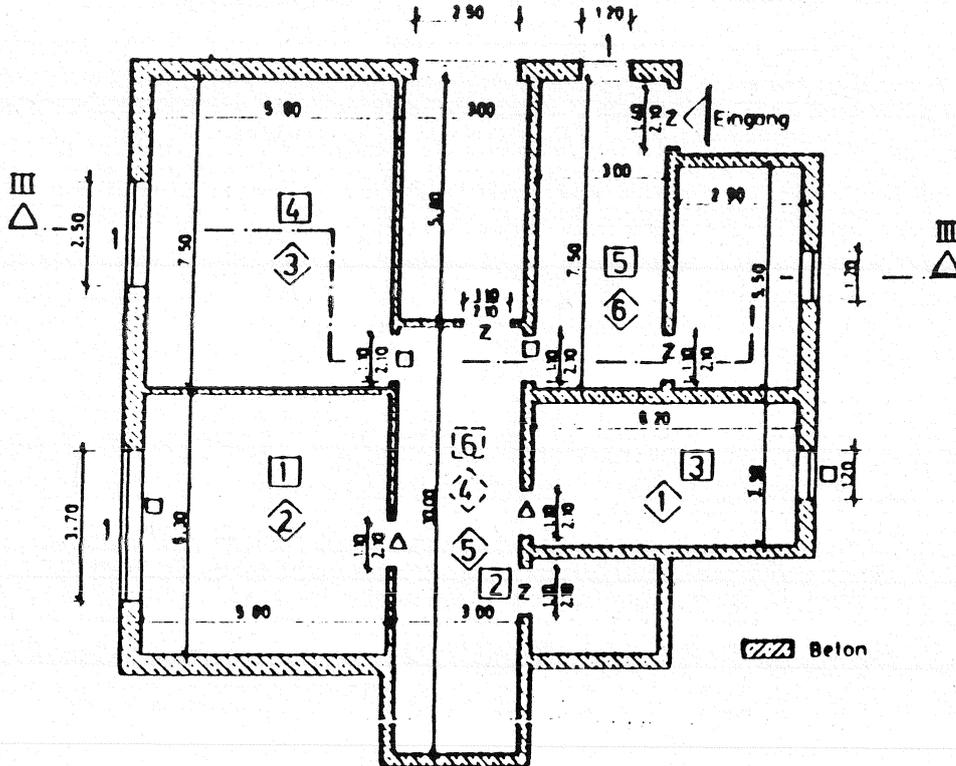
# Ergebnisse der Berechnungen mit MRFC zu HAAR71



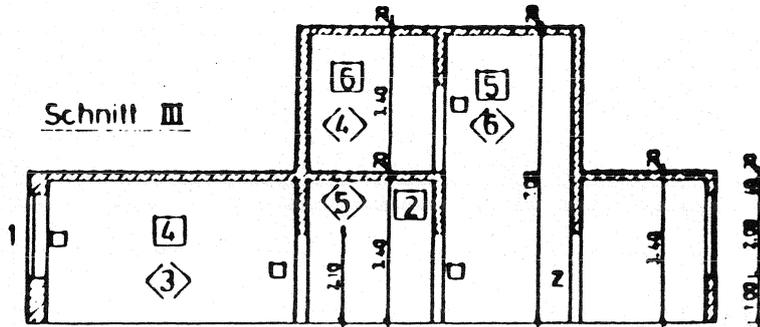
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR7L

Grundriß 2



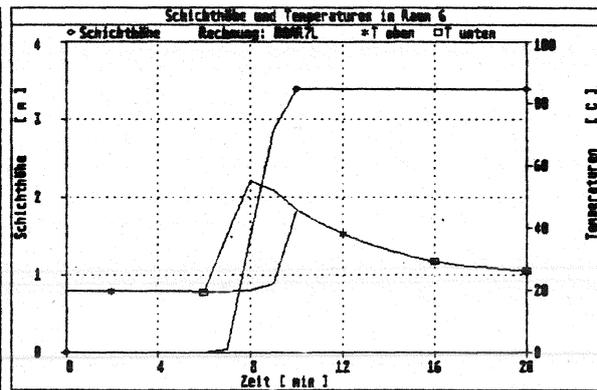
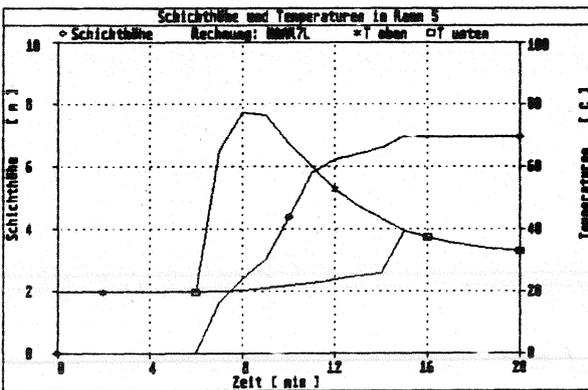
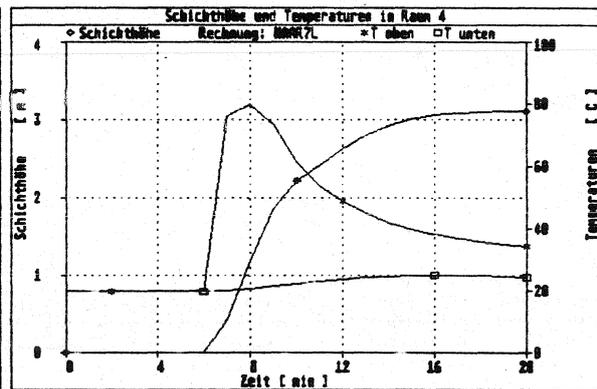
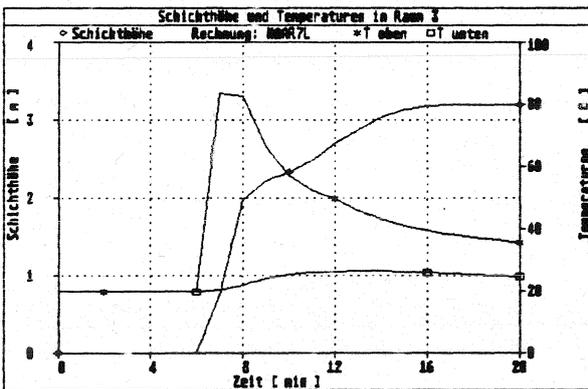
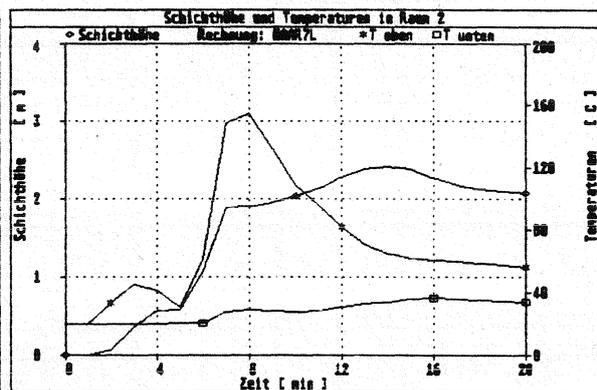
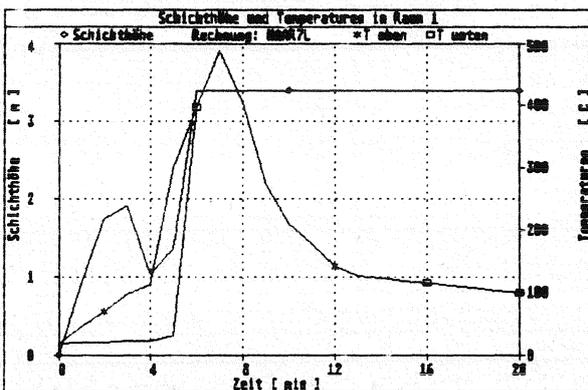
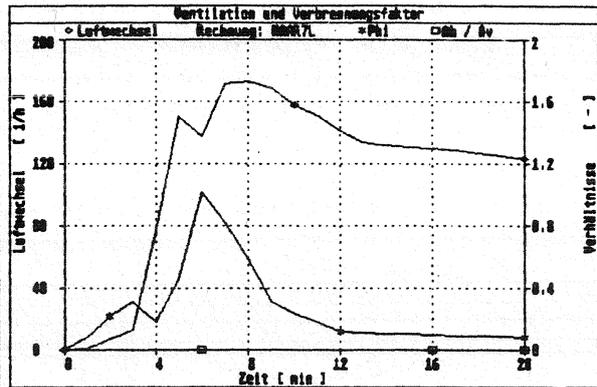
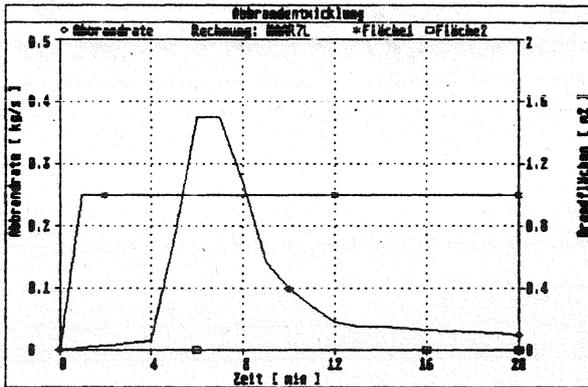
Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- 1 = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

- ⬇️ Raumnummer für Berechnungen mit HAZARD I
- ⬇️ Raumnummer für Berechnungen mit MRFC

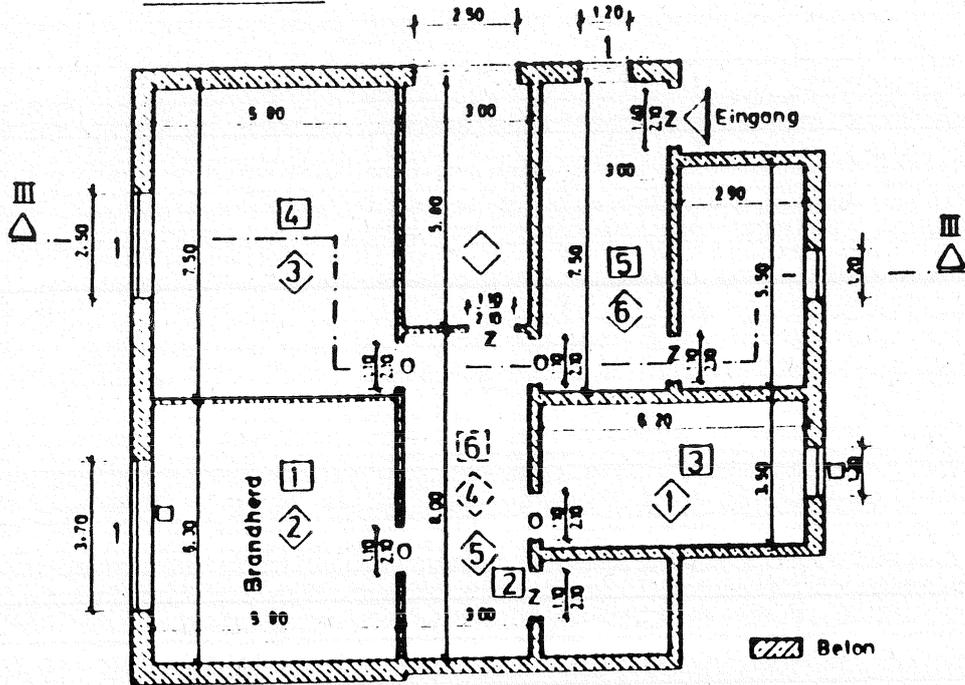
## Ergebnisse der Berechnungen mit MRFC zu HAAR7L



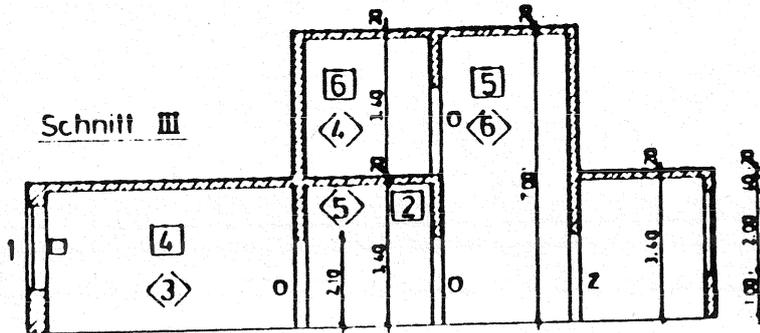
Systemübersicht für Berechnungen

# HAAR81

Grundriß 1



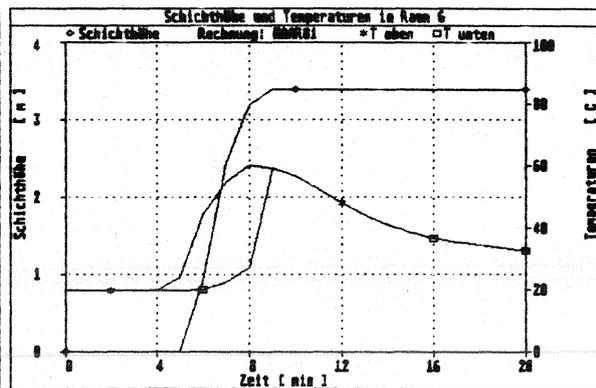
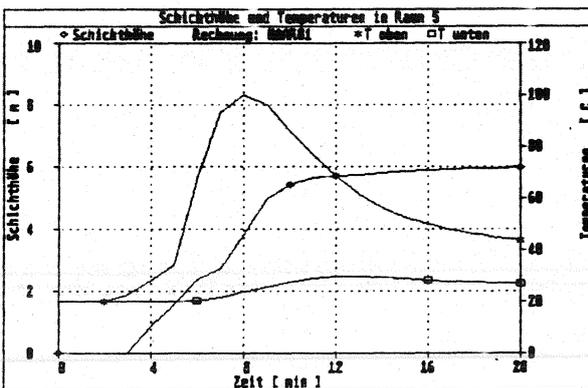
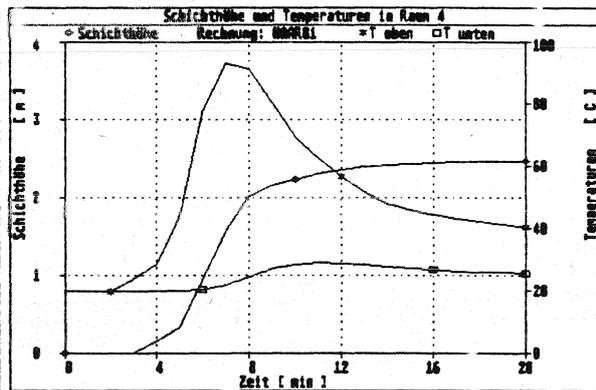
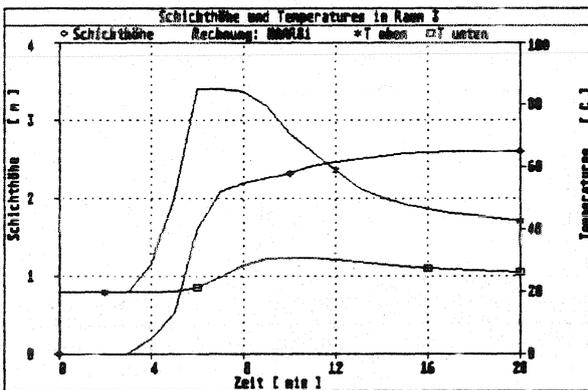
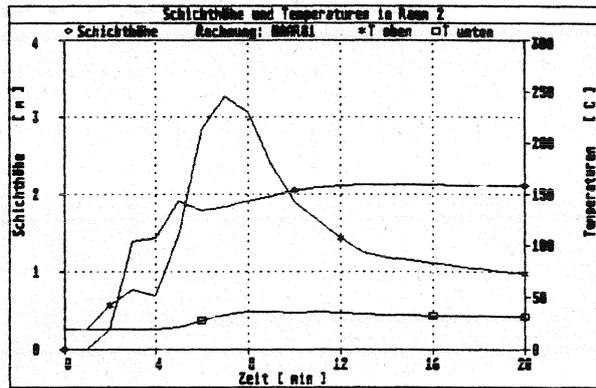
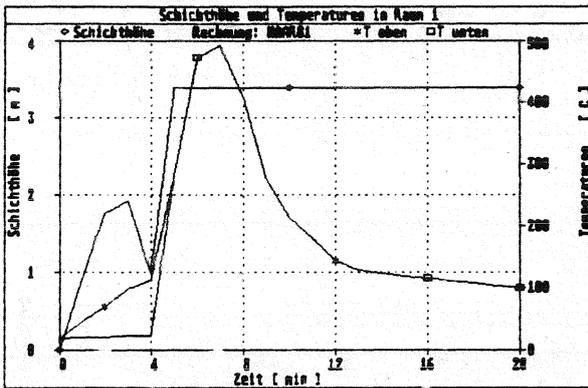
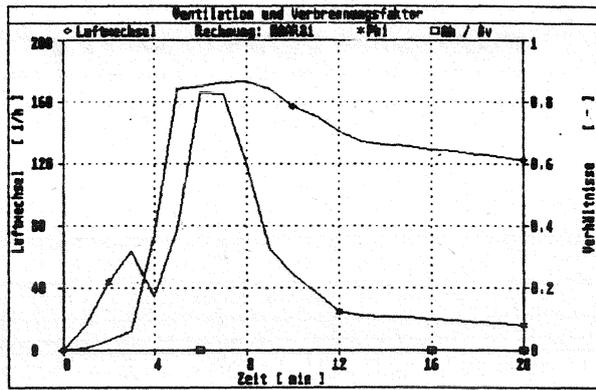
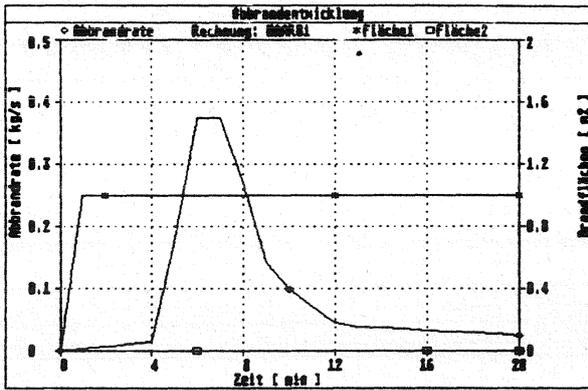
Schnitt III



- O = offen
- Z = zu
- I = 1% offen
- △ = 100s zu, dann offen
- = 260s zu, dann offen

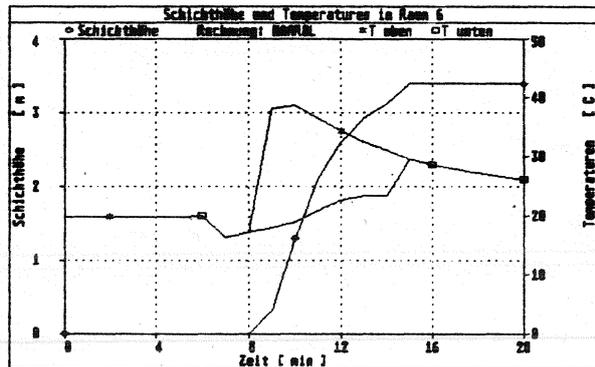
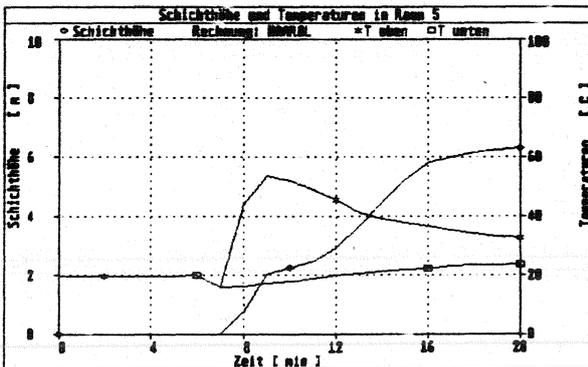
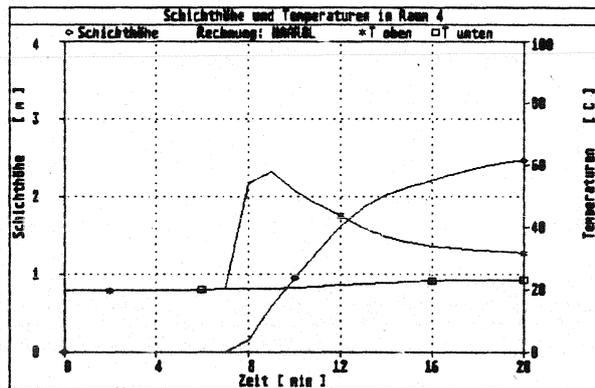
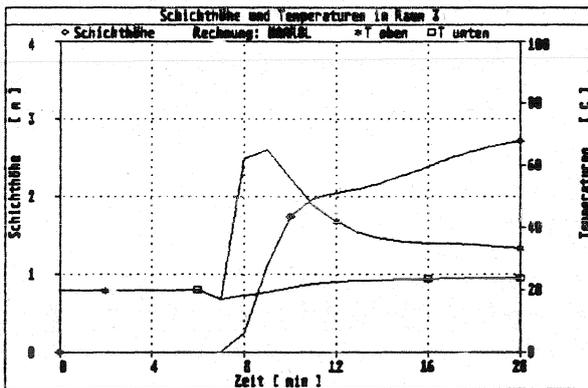
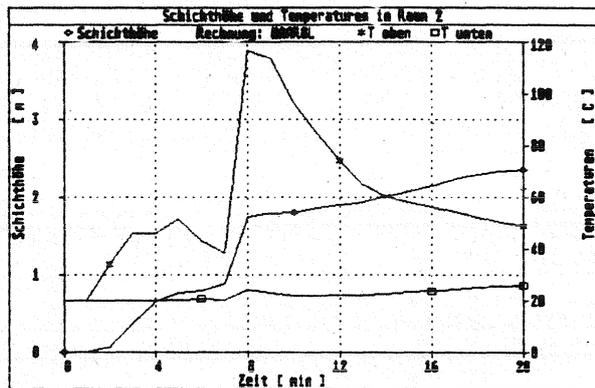
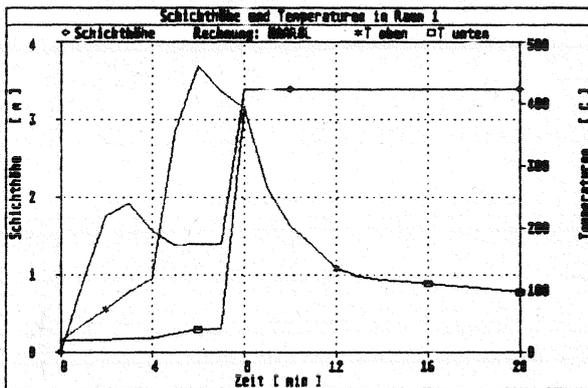
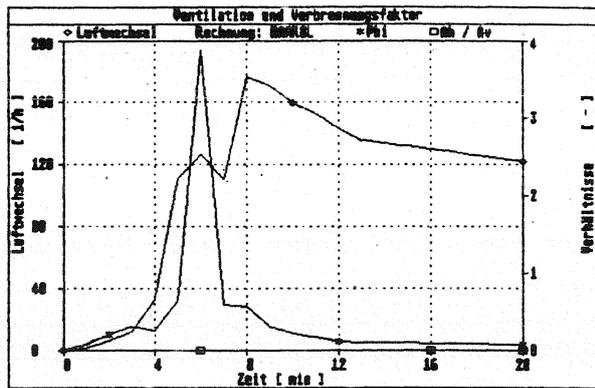
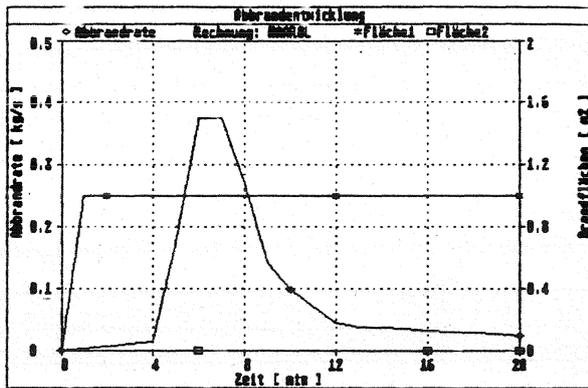
- ↕ Raumnummer für Berechnungen mit HAZARD I
- (with number) Raumnummer für Berechnungen mit MRFC

# Ergebnisse der Berechnungen zu HAAR81





# Ergebnisse der Berechnungen mit MRFC zu HAAR8L



## **Anlagen 4**

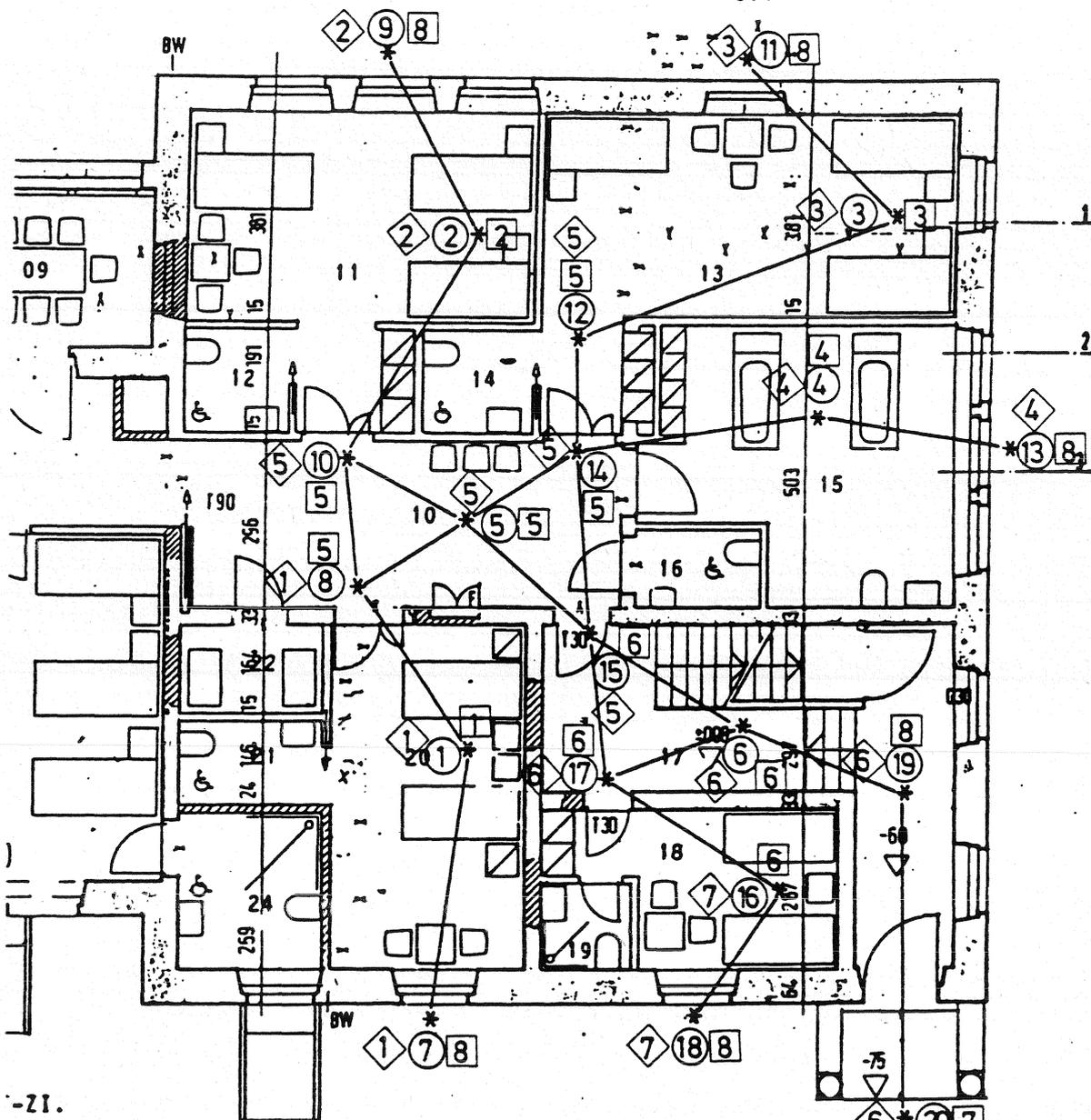
**Berechnungen mit EXITT und  
TENAB**

# Knotenzuordnung zwischen FAST und EXITT

- FAST-Raum
- EXITT Knoten
- ◇ EXITT Raum

10 FLUR  
23.6

15 STATIONSBAD  
24.2  
16 BES. WC  
3.1

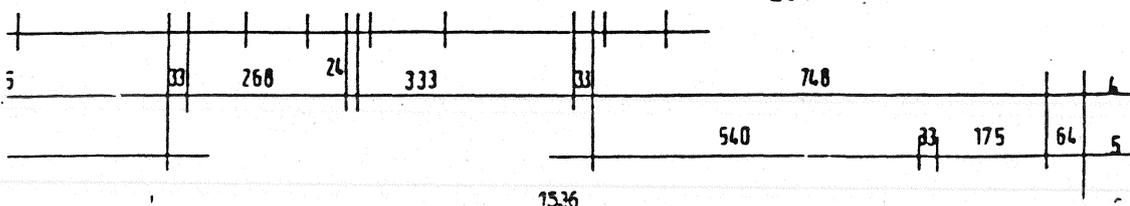


22 REINWASCHE 4.4  
21 SAN.EINH. 4.1  
24 SAN.EINH. 7.0

20 2-BETT-ZI. 21.0

17 TREPPENHAUS T6 19.3  
18 JOURZIMMER 12.4  
19 SAN.EINH. 2.4

▲ EINGANG HAUS E



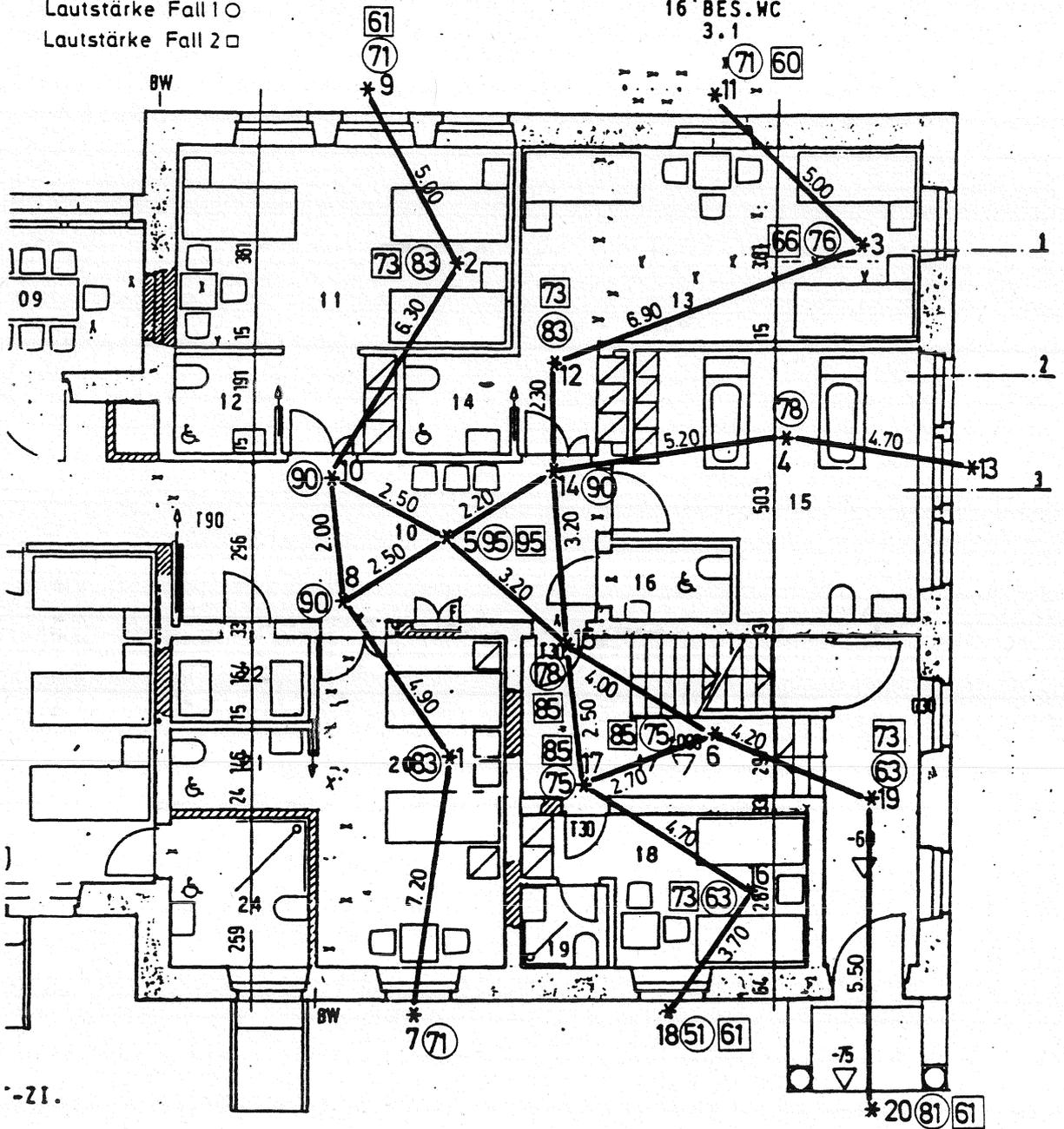
15.36

Geometriedaten für EXITT

20 Knoten  
 22 Verbindungen  
 Lautstärke Fall 1 ○  
 Lautstärke Fall 2 □

10 FLUR  
 23.6

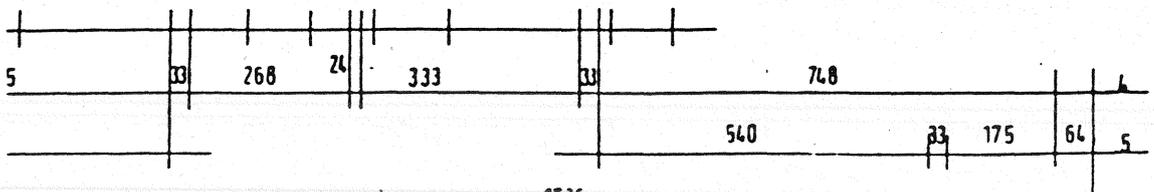
15 STATIONSBAD  
 24.2  
 16 BES.WC  
 3.1



22 REINWÄSCHE 4.4  
 21 SAN.EINH. 4.1  
 24 SAN.EINH. 7.0  
 20 2-BETT-ZI. 21.0

17 TREPPENHAUS T6 19.3  
 18 JOURZIMMER 12.4  
 19 SAN.EINH. 2.4

▲ EINGANG HAUS E



## **Anlagen 4.2**

### **Berechnungen für HAAR1 ohne Rauchmelder**

6 20  
 1 2 3 4 5  
 6 8 5 8 5  
 8 3 8 5 6  
 6 6 8 8 7  
 1 2 3 4 5  
 6 1 5 2 5  
 3 3 4 5 6  
 16 16 16 6 6  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 35 35 35 35 35  
 35 35 35 35 35  
 35 35 35 35 35  
 55 35 35 35 35

0  
 22  
 1 7 7.20  
 1 8 4.90  
 8 5 2.50  
 8 10 2.50  
 5 10 2.50  
 2 10 6.50  
 2 9 5.00  
 5 14 2.20  
 5 15 3.20  
 14 15 3.20  
 4 14 5.20  
 4 13 4.70  
 14 12 2.30  
 12 3 6.90  
 3 11 5.00  
 6 15 4.00  
 15 17 2.50  
 6 17 2.70  
 17 16 4.70  
 16 18 3.70  
 6 19 4.20  
 19 20 5.50

6  
 70 70 70 70 70 30  
 1 1 1 1 1 0  
 0 0 0 0 0 1  
 1 2 2 3 3 16  
 1 0 0 1 1 0  
 10. 10. 10. 0. 0. 0.  
 -1. -1. -1. -1. -1. -1.

Anzahl Fast Räume, Knoten  
FAST-Raumnr.

EXITT-Raumnr.

Abstand Decke Fußboden an EXITT Knoten

Knotenhöhe über Fußboden

Geräuschgrundpegel

Anzahl Rauchmelder  
 Anzahl Knotenverbindungen  
 Abstände zwischen Knoten

Anzahl der Personen

Alter  
 Geschlecht  
 schlafend/wach  
 Aufenthaltsort  
 Hilfe benötigt ja/nein  
 Zuschlag für tiefes Schlafen  
 Gehgeschwindigkeit -1 = 1,3 m/S

Datensatz für EXITT

BUILDING/OCCUPANT FILE: HAAR1\_OA.BLD

EXITT OUTPUT FILE : HAAR1\_OA.EXT

EXITT DUMP FILE : HAAR1\_OA.EVA

NO. OF ROOMS (RUN WITH FAST) 6  
 NO. OF DOORS 1  
 NO. OF WINDOWS 6  
 TOTAL NUMBER OF NODES 20

EXITT NODE NUMBER	EXITT ROOM NUMBER	FAST ROOM NUMBER	ROOM HEIGHT (M)	FLOOR HEIGHT (M)
1	1	1	3.4	0.0
2*	2	2	3.4	0.0
3	3	3	3.4	0.0
4	4	4	3.4	0.0
5	5	5	3.4	0.0
6	6	6	3.4	0.0
7	1	8	3.4	0.0
8	5	5	3.4	0.0
9	2	8	3.4	0.0
10	5	5	3.4	0.0
11	3	8	3.4	0.0
12	3	3	3.4	0.0
13	4	8	3.4	0.0
14	5	5	3.4	0.0
15	6	6	3.4	0.0
16	16	6	3.4	0.0
17	16	6	3.4	0.0
18	16	8	3.4	0.0
19	6	8	3.4	0.0
20	6	7	3.4	0.0

\* INDICATES NODE IS IN BURN ROOM

NODE NUMBER	NOISE LEVEL (DECIBELS)
1	35
2	35
3	35
4	35
5	35
6	35
7	35
8	35
9	35
10	35
11	35
12	35
13	35
14	35
15	35
16	55
17	35
18	35
19	35
20	35

NUMBER OF SMOKE DETECTORS: 0

EDGE LIST FROM NODE	TO NODE	DISTANCE (M)
1 -	7	7.20
-	8	4.90
2 -	9	5.00
-	10	6.50
3 -	11	5.00
-	12	6.90
4 -	13	4.70
-	14	5.20
5 -	8	2.50
-	10	2.50
-	14	2.20
-	15	3.20
6 -	15	4.00
-	17	2.70
-	19	4.20
7 -	1	7.20
8 -	1	4.90
-	5	2.50
-	10	2.50
9 -	2	5.00
10 -	2	6.50
-	5	2.50
-	8	2.50
11 -	3	5.00
12 -	3	6.90
-	14	2.30
13 -	4	4.70
14 -	4	5.20
-	5	2.20
-	12	2.30
-	15	3.20
15 -	5	3.20
-	6	4.00
-	14	3.20
-	17	2.50
16 -	17	4.70
-	18	3.70
17 -	6	2.70
-	15	2.50
-	16	4.70
18 -	16	3.70
19 -	6	4.20
-	20	5.50
20 -	19	5.50

TOTAL NUMBER OF DIRECTED EDGES 44

NUMBER OF PEOPLE 6

PERSON	LOCATION	AGE	SEX	STATE	SLEEP PENALTY	REQUIRE ASSISTANCE	TRAVEL SPEED
1	1	70	MALE	ASLEEP	10.0	YES	1.30
2	2	70	MALE	ASLEEP	10.0	NO	1.30
3	2	70	MALE	ASLEEP	10.0	NO	1.30
4	3	70	MALE	ASLEEP	0.0	YES	1.30
5	3	70	MALE	ASLEEP	0.0	YES	1.30
6	16	30	FEMALE	AWAKE	0.0	NO	1.30

Anlage 4.2.2.2

ACTIONS TAKEN BY PERSON 1						
NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
1	1	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
1	1	137.5	--	6	--	RECEIVING ASSISTANCE
1	1	143.5	--	6	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
7	8	152.0	--	6	7	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 2						
NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
2	2	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
2	2	113.0	6	--	16	GO TO ALERT OTHER
10	5	116.8	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
5	5	118.3	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	120.2	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
17	6	121.7	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
16	6	124.5	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
16	6	124.5	6	--	--	ALERT OCCUPANT
16	6	124.5	5	--	3	GO TO RESCUE OTHER
17	6	127.3	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	128.7	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
14	5	130.6	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
12	3	132.0	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	136.1	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	136.1	5	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
3	3	142.1	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
11	8	148.0	5	--	11	ARRIVE AT WINDOW

ACTIONS TAKEN BY PERSON 3						
NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
2	2	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
2	2	113.0	4	--	3	GO TO RESCUE OTHER
10	5	116.8	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
5	5	118.3	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
14	5	119.6	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
12	3	121.0	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	125.1	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	125.1	4	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
3	3	131.1	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
11	8	137.0	4	--	11	ARRIVE AT WINDOW

ACTIONS TAKEN BY PERSON 4						
NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
3	3	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
3	3	125.1	--	3	--	RECEIVING ASSISTANCE
3	3	131.1	--	3	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
11	8	137.0	--	3	11	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 5						
NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
3	3	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
3	3	136.1	--	2	--	RECEIVING ASSISTANCE
3	3	142.1	--	2	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
11	8	148.0	--	2	11	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 6

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
16	6	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
16	6	124.5	--	2	--	BEING ALERTED
16	6	127.0	1	--	1	GO TO RESCUE OTHER
17	6	129.8	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	131.2	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
5	5	133.1	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
8	5	134.6	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
1	1	137.5	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
1	1	137.5	1	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
1	1	143.5	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
7	8	152.0	1	--	7	ARRIVE AT WINDOW

FAST Version: 18.3

TENAB Version: 18.1 - Creation Date: 02/09/89 - Run Date: 05/30/90

FAST DUMP FILE : HAAR1.DMP

EXITT DUMP FILE : HAAR1\_OA.EVA

TENAB OUTPUT FILE: HAAR1\_OA.TEN

TENAB DUMP FILE : HAAR1\_OA.PLT

OCCUPANT	NODE NUMBER	ROOM NUMBER	FLOOR ELEVATION	ENTER TIME (S)
1	1	1	0.00	0.0
	7	WINDOW	0.00	152.0
2	2	2	0.00	0.0
	10	5	0.00	116.8
	5	5	0.00	118.3
	15	6	0.00	120.2
	17	6	0.00	121.7
	16	6	0.00	124.5
	17	6	0.00	127.3
	15	6	0.00	128.7
	14	5	0.00	130.6
	12	3	0.00	132.0
	3	3	0.00	136.1
	11	WINDOW	0.00	148.0
3	2	2	0.00	0.0
	10	5	0.00	116.8
	5	5	0.00	118.3
	14	5	0.00	119.6
	12	3	0.00	121.0
	3	3	0.00	125.1
	11	WINDOW	0.00	137.0
4	3	3	0.00	0.0
	11	WINDOW	0.00	137.0
5	3	3	0.00	0.0
	11	WINDOW	0.00	148.0
6	16	6	0.00	0.0
	17	6	0.00	129.8
	15	6	0.00	131.2
	5	5	0.00	133.1
	8	5	0.00	134.6
	1	1	0.00	137.5
	7	WINDOW	0.00	152.0

FACTORS	INCAPACITATION LEVEL	LETHAL LEVEL
FED1	0.5	1.0
TEMP1 DEG C	65.0	100.0
CT (G-MIN/M3)	450.0	900.0
FED2	1.0	
TEMP2	1.0	
FED3	1.0	

PERSON 1	TIME NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
160.	7	WINDOW*		0.000E+00 0.953E-03	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Anlage 4.2.2.5

320.	1	INCAPACITATED	TEMP1	0.534E-02 0.000E+00 0.128E-01 0.130E-01	0.781E+02 0.250E-01	0.634E+01	0.183E-01
520.	1	INCAPACITATED	FED2	0.822E-03 0.107E+01 0.311E+00	0.661E+02 0.193E+00	0.230E+03	0.177E+00
620.	1	DEAD	TEMP1	0.697E-02 0.234E+01 0.733E+00	0.160E+03 0.377E+00	0.448E+03	0.807E+00
640.	1	INCAPACITATED	CT	0.117E-01 0.286E+01 0.955E+00	0.162E+03 0.532E+00	0.492E+03	0.128E+01
660.	1	INCAPACITATED	FED3	0.168E-01 0.345E+01 0.120E+01	0.134E+03 0.604E+00	0.543E+03	0.149E+01
800.	1	DEAD	CT	0.554E-01 0.842E+01 0.321E+01	0.688E+02 0.735E+00	0.948E+03	0.176E+01
910.	1	FINAL TIME		0.878E-01 0.127E+02 0.516E+01	0.736E+02 0.799E+00	0.120E+04	0.220E+01

PERSON 2		CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
TIME	NODE						
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
150.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.928E-03 0.520E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.616E-01
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.687E-01
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.219E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.283E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.334E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.410E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.457E+00

PERSON 3		CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
TIME	NODE						
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
140.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.859E-03 0.481E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.616E-01
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.687E-01
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.219E+00

Anlage 4.2.2.6

680.	3	INCAPACITATED	CT	0.266E+00 0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.283E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.334E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.410E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.457E+00

PERSON 4

TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
140.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.859E-03 0.481E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.710E-02
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.157E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.222E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.273E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.348E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.395E+00

PERSON 5

TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
150.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.928E-03 0.520E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.454E-15
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.710E-02
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.157E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.222E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.273E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.348E+00

Anlage 4.2.2.7

910.	3	FINAL TIME		0.135E+01				
				0.262E-01	0.609E+02	0.104E+04	0.395E+00	
				0.534E+01	0.378E+00			
				0.162E+01				

PERSON 6								
TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX	
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)	
160.	7	WINDOW*		0.000E+00 0.953E-03 0.534E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.118E-06	
320.	1	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.128E-01 0.130E-01	0.781E+02 0.250E-01	0.634E+01	0.183E-01	
520.	1	INCAPACITATED	FED2	0.822E-03 0.107E+01 0.311E+00	0.661E+02 0.193E+00	0.230E+03	0.177E+00	
620.	1	DEAD	TEMP1	0.697E-02 0.234E+01 0.733E+00	0.160E+03 0.377E+00	0.448E+03	0.807E+00	
640.	1	INCAPACITATED	CT	0.117E-01 0.286E+01 0.955E+00	0.162E+03 0.532E+00	0.492E+03	0.128E+01	
660.	1	INCAPACITATED	FED3	0.168E-01 0.345E+01 0.120E+01	0.134E+03 0.604E+00	0.543E+03	0.149E+01	
800.	1	DEAD	CT	0.554E-01 0.842E+01 0.321E+01	0.688E+02 0.735E+00	0.948E+03	0.176E+01	
910.	1	FINAL TIME		0.878E-01 0.127E+02 0.516E+01	0.736E+02 0.799E+00	0.120E+04	0.220E+01	

- FED1 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO, CO2, HCN AND O2 BASED ON THE HAZARD I TENAB FED PLUS AN OXYGEN TERM
- FED2 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO, CO2, HCN AND O2 BASED ON PURSER'S EQUATIONS
- FED3 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO2 BASED ON PURSER'S EQUATIONS
- TEMP1 - THE AVERAGE TEMPERATURE OF THE LAYER OF THE ROOM TO WHICH THE PERSON IS EXPOSED - IT IS THE SAME AS TEMP USED IN THE HAZARD I TENAB
- TEMP2 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CONVECTIVE HEAT BASED ON PURSER'S EQUATIONS

\* IF PERSON IS WAITING AT A WINDOW, HE IS CONSIDERED TO BE AT THE NODE (ROOM) FROM WHICH HE CAME PRIOR TO REACHING THE WINDOW THIS ALLOWS HIM TO CONTINUE TO BE EXPOSED TO THE ROOM FIRE CONDITIONS

## **Anlagen 4.3**

### **Berechnungen für HAAR1 mit Rauchmelder**

6 20  
 1 2 3 4 5  
 6 8 5 8 5  
 8 3 8 5 6  
 6 6 8 8 7  
 1 2 3 4 5  
 6 1 5 2 5  
 3 3 4 5 6  
 16 16 16 6 6  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 3.4 3.4 3.4 3.4 3.4  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 0. 0. 0. 0. 0.  
 35 35 35 35 35  
 35 35 35 35 35  
 35 35 35 35 35  
 55 35 35 35 35  
 1  
 -1.  
 5  
 3 83 76 78 95  
 75 71 90 71 90  
 74 83 66 90 78  
 63 75 51 63 51  
 22  
 1 7 7.20  
 1 8 4.90  
 8 5 2.50  
 8 10 2.50  
 5 10 2.50  
 2 10 6.50  
 2 9 5.00  
 5 14 2.20  
 5 15 3.20  
 14 15 3.20  
 4 14 5.20  
 4 13 4.70  
 14 12 2.30  
 12 3 6.90  
 3 11 5.00  
 6 15 4.00  
 15 17 2.50  
 6 17 2.70  
 17 16 4.70  
 16 18 3.70  
 6 19 4.20  
 19 20 5.50  
 6  
 70 70 70 70 70 30  
 1 1 1 1 1 0  
 0 0 0 0 0 1  
 1 2 2 3 3 16  
 1 0 0 1 1 0  
 10. 10. 10. 0. 0. 0.  
 -1. -1. -1. -1. -1. -1.

Anzahl Fast Räume, Knoten  
FAST-Raumnr.

EXITT-Raumnr.

Abstand Decke Fußboden an EXITT Knoten

Knotenhöhe über Fußboden

Geräuschgrundpegel

Anzahl Rauchmelder  
Auslösezeit -1 = von EXITT bestimmt  
Knoten an den Rauchmelder installiert  
Geräuschpegel an Knoten

Anzahl Knotenverbindungen  
Abstände zwischen Knoten

Anzahl der Personen  
Alter  
Geschlecht  
schlafend/wach  
Aufenthaltsort  
Hilfe benötigt ja/nein  
Zuschlag für tiefes Schlafen  
Gehgeschwindigkeit -1 = 1,3 m/S

: HAAR1.DMP

BUILDING/OCCUPANT FILE: HAAR1\_MA.BLD

EXITT OUTPUT FILE : HAAR1\_MA.EXT

EXITT DUMP FILE : HAAR1\_MA.EVA

NO. OF ROOMS (RUN WITH FAST) 6  
 NO. OF DOORS 1  
 NO. OF WINDOWS 6  
 TOTAL NUMBER OF NODES 20

EXITT NODE NUMBER	EXITT ROOM NUMBER	FAST ROOM NUMBER	ROOM HEIGHT (M)	FLOOR HEIGHT (M)
1	1	1	3.4	0.0
2*	2	2	3.4	0.0
3	3	3	3.4	0.0
4	4	4	3.4	0.0
5	5	5	3.4	0.0
6	6	6	3.4	0.0
7	1	8	3.4	0.0
8	5	5	3.4	0.0
9	2	8	3.4	0.0
10	5	5	3.4	0.0
11	3	8	3.4	0.0
12	3	3	3.4	0.0
13	4	8	3.4	0.0
14	5	5	3.4	0.0
15	6	6	3.4	0.0
16	16	6	3.4	0.0
17	16	6	3.4	0.0
18	16	8	3.4	0.0
19	6	8	3.4	0.0
20	6	7	3.4	0.0

\* INDICATES NODE IS IN BURN ROOM

NODE NUMBER	NOISE LEVEL (DECIBELS)
1	35
2	35
3	35
4	35
5	35
6	35
7	35
8	35
9	35
10	35
11	35
12	35
13	35
14	35
15	35
16	55
17	35
18	35
19	35
20	35

NUMBER OF SMOKE DETECTORS: 1

SMOKE DET NO. 1      NODE 5      ACTIVATION TIME (SEC) 0.0 SECONDS  
DETERMINED BY EXITT TO BE

EXITT NODE NUMBER	ALARM LEVEL (DECIBELS)
1	83
2	83
3	76
4	78
5	95
6	75
7	71
8	90
9	71
10	90
11	74
12	83
13	66
14	90
15	78
16	63
17	75
18	51
19	63
20	51

EDGE LIST FROM NODE	TO NODE	DISTANCE (M)
1 -	7	7.20
-	8	4.90
2 -	9	5.00
-	10	6.50
3 -	11	5.00
-	12	6.90
4 -	13	4.70
-	14	5.20
5 -	8	2.50
-	10	2.50
-	14	2.20
-	15	3.20
6 -	15	4.00
-	17	2.70
-	19	4.20
7 -	1	7.20
8 -	1	4.90
-	5	2.50
-	10	2.50
9 -	2	5.00
10 -	2	6.50
-	5	2.50
-	8	2.50
11 -	3	5.00
12 -	3	6.90
-	14	2.30
13 -	4	4.70
14 -	4	5.20
-	5	2.20
-	12	2.30
-	15	3.20
15 -	5	3.20
-	6	4.00
-	14	3.20
-	17	2.50

16 -	17	4.70
-	18	3.70
17 -	6	2.70
-	15	2.50
-	16	4.70
18 -	16	3.70
19 -	6	4.20
-	20	5.50
20 -	19	5.50

TOTAL NUMBER OF DIRECTED EDGES 44

NUMBER OF PEOPLE 6

PERSON	LOCATION	AGE	SEX	STATE	SLEEP PENALTY	REQUIRE ASSISTANCE	TRAVEL SPEED
1	1	70	MALE	ASLEEP	10.0	YES	1.30
2	2	70	MALE	ASLEEP	10.0	NO	1.30
3	2	70	MALE	ASLEEP	10.0	NO	1.30
4	3	70	MALE	ASLEEP	0.0	YES	1.30
5	3	70	MALE	ASLEEP	0.0	YES	1.30
6	16	30	FEMALE	AWAKE	0.0	NO	1.30

ACTIONS TAKEN BY PERSON 1

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
1	1	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
1	1	137.5	--	6	--	RECEIVING ASSISTANCE
1	1	143.5	--	6	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
7	8	152.0	--	6	7	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 2

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
2	2	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
2	2	113.0	6	--	16	GO TO ALERT OTHER
10	5	116.8	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
5	5	118.3	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	120.2	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
17	6	121.7	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
16	6	124.5	6	--	16	ARRIVE AT NEW NODE
16	6	124.5	6	--	--	ALERT OCCUPANT
16	6	124.5	5	--	3	GO TO RESCUE OTHER
17	6	127.3	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	128.7	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
14	5	130.6	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
12	3	132.0	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	136.1	5	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	136.1	5	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
3	3	142.1	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
11	8	148.0	5	--	11	ARRIVE AT WINDOW

ACTIONS TAKEN BY PERSON 3

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
2	2	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
2	2	113.0	4	--	3	GO TO RESCUE OTHER
10	5	116.8	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE

5	5	118.3	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
14	5	119.6	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
12	3	121.0	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	125.1	4	--	3	ARRIVE AT NEW NODE
3	3	125.1	4	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
3	3	131.1	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
11	8	137.0	4	--	11	ARRIVE AT WINDOW

ACTIONS TAKEN BY PERSON 4

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
3	3	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
3	3	125.1	--	3	--	RECEIVING ASSISTANCE
3	3	131.1	--	3	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
11	8	137.0	--	3	11	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 5

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
3	3	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
3	3	136.1	--	2	--	RECEIVING ASSISTANCE
3	3	142.1	--	2	--	LEAVE BUILDING WITH ASSISTANCE
11	8	148.0	--	2	11	ARRIVE AT WINDOW WITH ASSISTANCE

ACTIONS TAKEN BY PERSON 6

NODE	ROOM	TIME	SAV- ING	SAVED BY	DESTI- NATION	ACTION
16	6	0.0	--	--	--	INITIAL POSITION
16	6	124.5	--	2	--	BEING ALERTED
16	6	127.0	1	--	1	GO TO RESCUE OTHER
17	6	129.8	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
15	6	131.2	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
5	5	133.1	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
8	5	134.6	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
1	1	137.5	1	--	1	ARRIVE AT NEW NODE
1	1	137.5	1	--	--	PREPARE ANOTHER TO LEAVE BUILDING
1	1	143.5	--	--	--	ASSIST OTHER(S) OUT OF BUILDING
7	8	152.0	1	--	7	ARRIVE AT WINDOW

FAST Version: 18.3

TENAB Version: 18.1 - Creation Date: 02/09/89 - Run Date: 05/30/90

FAST DUMP FILE : HAAR1.DMP

EXITT DUMP FILE : HAAR1\_MA.EVA

TENAB OUTPUT FILE: HAAR1\_MA.TEN

TENAB DUMP FILE : HAAR1\_MA.PLT

OCCUPANT	NODE NUMBER	ROOM NUMBER	FLOOR ELEVATION	ENTER TIME (S)
1	1	1	0.00	0.0
	7	WINDOW	0.00	152.0
2	2	2	0.00	0.0
	10	-5	0.00	116.8
	5	5	0.00	118.3
	15	6	0.00	120.2
	17	6	0.00	121.7
	16	6	0.00	124.5
	17	6	0.00	127.3
	15	6	0.00	128.7
	14	5	0.00	130.6
	12	3	0.00	132.0
	3	3	0.00	136.1
	11	WINDOW	0.00	148.0
3	2	2	0.00	0.0
	10	5	0.00	116.8
	5	5	0.00	118.3
	14	5	0.00	119.6
	12	3	0.00	121.0
	3	3	0.00	125.1
	11	WINDOW	0.00	137.0
4	3	3	0.00	0.0
	11	WINDOW	0.00	137.0
5	3	3	0.00	0.0
	11	WINDOW	0.00	148.0
6	16	6	0.00	0.0
	17	6	0.00	129.8
	15	6	0.00	131.2
	5	5	0.00	133.1
	8	5	0.00	134.6
	1	1	0.00	137.5
	7	WINDOW	0.00	152.0

FACTORS	INCAPACITATION LEVEL	LETHAL LEVEL
FED1	0.5	1.0
TEMP1 DEG C	65.0	100.0
CT (G-MIN/M3)	450.0	900.0
FED2	1.0	
TEMP2	1.0	
FED3	1.0	

PERSON	1	TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1	TEMP1	CT	FLUX
(SEC)						FED2	TEMP2		
						FED3		(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
160.	7	WINDOW*				0.000E+00	0.200E+02	0.000E+00	0.000E+00
						0.953E-03	0.000E+00		

320.	1	INCAPACITATED	TEMP1	0.534E-02 0.000E+00 0.128E-01 0.130E-01	0.781E+02 0.250E-01	0.634E+01	0.183E-01
520.	1	INCAPACITATED	FED2	0.822E-03 0.107E+01 0.311E+00	0.661E+02 0.193E+00	0.230E+03	0.177E+00
620.	1	DEAD	TEMP1	0.697E-02 0.234E+01 0.733E+00	0.160E+03 0.377E+00	0.448E+03	0.807E+00
640.	1	INCAPACITATED	CT	0.117E-01 0.286E+01 0.955E+00	0.162E+03 0.532E+00	0.492E+03	0.128E+01
660.	1	INCAPACITATED	FED3	0.168E-01 0.345E+01 0.120E+01	0.134E+03 0.604E+00	0.543E+03	0.149E+01
800.	1	DEAD	CT	0.554E-01 0.842E+01 0.321E+01	0.688E+02 0.735E+00	0.948E+03	0.176E+01
910.	1	FINAL TIME		0.878E-01 0.127E+02 0.516E+01	0.736E+02 0.799E+00	0.120E+04	0.220E+01

PERSON 2

TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
150.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.928E-03 0.520E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.616E-01
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.687E-01
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.219E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.283E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.334E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.410E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.457E+00

PERSON 3

TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)
140.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.859E-03 0.481E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.616E-01
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.687E-01
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.219E+00

680.	3	INCAPACITATED	CT	0.266E+00 0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.283E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.334E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.410E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.457E+00

PERSON 4

TIME (SEC)	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX (KW-SEC/M2)
140.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.859E-03 0.481E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.710E-02
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.157E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.222E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.273E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01 0.135E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.348E+00
910.	3	FINAL TIME		0.262E-01 0.534E+01 0.162E+01	0.609E+02 0.378E+00	0.104E+04	0.395E+00

PERSON 5

TIME (SEC)	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX (KW-SEC/M2)
150.	11	WINDOW*		0.000E+00 0.928E-03 0.520E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.454E-15
320.	3	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.906E-02 0.124E-01	0.657E+02 0.188E-01	0.514E+01	0.710E-02
620.	3	INCAPACITATED	FED2	0.000E+00 0.104E+01 0.266E+00	0.988E+02 0.206E+00	0.338E+03	0.157E+00
680.	3	INCAPACITATED	CT	0.190E-02 0.170E+01 0.459E+00	0.781E+02 0.264E+00	0.479E+03	0.222E+00
800.	3	INCAPACITATED	FED3	0.141E-01 0.364E+01 0.106E+01	0.565E+02 0.333E+00	0.797E+03	0.273E+00
860.	3	DEAD	CT	0.199E-01 0.455E+01	0.574E+02 0.359E+00	0.943E+03	0.348E+00

910.	3	FINAL TIME		0.135E+01				
				0.262E-01	0.609E+02	0.104E+04	0.395E+00	
				0.534E+01	0.378E+00			
				0.162E+01				

PERSON 6								
TIME	NODE	CONDITION	CAUSE	FED1 FED2 FED3	TEMP1 TEMP2	CT	FLUX	
(SEC)						(G-MIN/M3)	(KW-SEC/M2)	
160.	7	WINDOW*		0.000E+00 0.953E-03 0.534E-02	0.200E+02 0.000E+00	0.000E+00	0.118E-06	
320.	1	INCAPACITATED	TEMP1	0.000E+00 0.128E-01 0.130E-01	0.781E+02 0.250E-01	0.634E+01	0.183E-01	
520.	1	INCAPACITATED	FED2	0.822E-03 0.107E+01 0.311E+00	0.661E+02 0.193E+00	0.230E+03	0.177E+00	
620.	1	DEAD	TEMP1	0.697E-02 0.234E+01 0.733E+00	0.160E+03 0.377E+00	0.448E+03	0.807E+00	
640.	1	INCAPACITATED	CT	0.117E-01 0.286E+01 0.955E+00	0.162E+03 0.532E+00	0.492E+03	0.128E+01	
660.	1	INCAPACITATED	FED3	0.168E-01 0.345E+01 0.120E+01	0.134E+03 0.604E+00	0.543E+03	0.149E+01	
800.	1	DEAD	CT	0.554E-01 0.842E+01 0.321E+01	0.688E+02 0.735E+00	0.948E+03	0.176E+01	
910.	1	FINAL TIME		0.878E-01 0.127E+02 0.516E+01	0.736E+02 0.799E+00	0.120E+04	0.220E+01	

- FED1 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO,CO2,HCN AND O2 BASED ON THE HAZARD I TENAB FED PLUS AN OXYGEN TERM
- FED2 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO,CO2,HCN AND O2 BASED ON PURSER'S EQUATIONS
- FED3 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CO2 BASED ON PURSER'S EQUATIONS
- TEMP1 - THE AVERAGE TEMPERATURE OF THE LAYER OF THE ROOM TO WHICH THE PERSON IS EXPOSED - IT IS THE SAME AS TEMP USED IN THE HAZARD I TENAB
- TEMP2 - THE FRACTIONAL EFFECTIVE DOSE DUE TO CONVECTIVE HEAT BASED ON PURSER'S EQUATIONS

\* IF PERSON IS WAITING AT A WINDOW, HE IS CONSIDERED TO BE AT THE NODE (ROOM) FROM WHICH HE CAME PRIOR TO REACHING THE WINDOW THIS ALLOWS HIM TO CONTINUE TO BE EXPOSED TO THE ROOM FIRE CONDITIONS