



FACHHOCHSCHULE BIBERACH

University of Applied Science

Fachbereich Bauingenieurwesen

Diplomarbeit

**Normative Verfahren und Ingenieurmethoden  
bei Brandschutzkonzepten für den Industriebau**

- Anwendung und Vergleich der normativen Verfahren mit dem Brandsimulationsprogramm Multi-Room-Fire-Code
- Verifikation von Multi-Room-Fire-Code

von

Michael Kurz

Salach 2004

## Vorwort

Der Bereich des Brandschutzes wird an der FH-Biberach im Studiengang Bauingenieurwesen nur am Rande gelehrt. Aus eigenem Interesse besuchte ich übergreifend die Vorlesung „Brandschutz“ im Studiengang Gebäudetechnik.

Die Vorlesung „Brandschutz“ von Gastdozent Kreisbrandmeister Dr.-Ing. M. Reick, Eislingen, hat wesentlich dazu beigetragen, mich auch in meiner Diplomarbeit, mit diesem wichtigen Thema zu beschäftigen.

Bei Herrn Dr.-Ing. M. Reick möchte ich mich hiermit ganz herzlich für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Bei vielen Diskussionen und Vorortterminen konnte ich erlernen und erfahren, was Brandschutz und Brandschutzkonzepte bedeuten und wie diese in der Praxis angewendet werden.

Für die Benutzung und die Betreuung mit dem Brandsimulationsprogramm Multi-Room-Fire-Code darf ich mich bei Herrn Dr.-Ing. U. Max, Bruchsal, herzlich bedanken. Der Zeitaufwand, mir das komplexe Programm näher zu bringen und auch bei der Problemstellung mit Rat und Tat zur Seite zu stehen, weiß ich in der heutigen Zeit zu schätzen.

Für das Überlassen der Ergebnisse der Brandversuche, an der MFPA Leipzig in Laue, gilt mein Dankeschön an Herrn Dipl.-Ing. E. Wilk vom Brandschutz Consult aus Leipzig.

Ein besonderes Dankeschön gilt auch Herrn Prof. Dipl.-Ing. K. Schwaner, dass ich das Thema NORMATIVE VERFAHREN UND INGENIEURMETHODEN BEI BRANDSCHUTZKONZEPTEN FÜR DEN INDUSTRIEBAU bearbeiten durfte.

Zum Schluss möchte ich mich auch noch bei meiner ganzen Familie bedanken. Das Entbinden von vielen Aufgaben hat sehr dazu beigetragen mit der Diplomarbeit erfolgreich fertig zu werden.

Zum Andenken an meinen verstorbenen Großvater Zimmerermeister *Eugen Kurz sen.* möchte ich ihm diese Arbeit widmen. Er konnte die Beendigung meiner Ausbildung zum Diplom Bauingenieur (FH) leider nicht mehr miterleben.

Im September 2004

Michael Kurz

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>2</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>6</b>
1.1 Warum werden Brandschutzkonzepte benötigt? .....	6
1.2 Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte.....	7
<b>2 Normative Verfahren</b> .....	<b>10</b>
2.1 Überblick normativer Verfahren .....	10
2.1.1 Industriebaurichtlinie.....	11
2.1.2 DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ .....	17
2.1.3 DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“.....	20
2.2 Hierarchie und Berechnungsinhalte im Industriebau .....	21
<b>3 Ingenieurmethoden des Brandschutzes</b> .....	<b>23</b>
3.1 Überblick Ingenieurmethoden des Brandschutzes.....	23
3.2 Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens.....	25
3.2.1 Grundsätze des Nachweises.....	25
3.2.2 Voraussetzungen für den Nachweis .....	26
3.2.3 Nachweisführung und Dokumentation .....	26
3.3 Berechnungen mit MRFC.....	27
3.3.1 Einführung in MRFC.....	27
3.3.2 Berechnungsablauf bei MRFC .....	34
<b>4 Vergleich von normativen Verfahren und Ingenieurmethoden an einem Objektbeispiel</b> .....	<b>40</b>
4.1 Ausgangswerte Versuchshalle .....	40
4.2 Warum wurde als Grundfläche 3.200 m <sup>2</sup> gewählt? .....	42
4.3 Normative Berechnung der Versuchshalle .....	46
4.3.1 Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung q <sub>R</sub> .....	46
4.3.2 Berechnung nach DIN 18 230-1 .....	48
4.3.3 Bewertung nach der Industriebaurichtlinie.....	50
4.3.4 Berechnung nach DIN 18232-2.....	52

---

4.3.5	Bewertung der Ergebnisse .....	53
4.4	Brandsimulationsberechnung Versuchshalle.....	54
4.4.1	Variationen bei den Berechnungen.....	54
4.4.2	Ergebnisse 1-Raum-Modell.....	58
4.4.3	Ergebnisse 2-Raum-Modell.....	60
4.4.4	Ergebnisse 4-Raum-Modell.....	62
4.5	Zusammenfassung der Berechnungen .....	65
<b>5</b>	<b>Verifikation von Brandsimulationsprogrammen .....</b>	<b>67</b>
5.1	Einführung .....	67
5.2	Versuchsberechnungen der MFPA Leipzig in Laue.....	69
5.2.1	Versuchsaufbau der Versuche .....	69
5.2.2	Versuch 1 - Ergebnisse des Vergleichs .....	76
5.2.3	Versuch 2 - Ergebnisse des Vergleichs .....	84
5.2.4	Versuch 3 - Ergebnisse des Vergleichs .....	92
5.2.5	Versuch 4 - Ergebnisse des Vergleichs .....	98
5.2.6	Bewertung der Versuchsergebnisse.....	103
<b>6</b>	<b>Feinabstimmung MRFC.....</b>	<b>104</b>
6.1	Überprüfen der Zusammensetzung von Isopropanol.....	104
6.2	Flammentemperatur.....	104
6.3	Brandleistung.....	106
6.4	Lage und Geometrie des Brandherdes.....	110
6.5	Einmischung Plume in Brandraum.....	115
6.6	Heizwert.....	118
<b>7</b>	<b>Bewertung von Kapitel 5 und Kapitel 6.....</b>	<b>120</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung &amp; Schlussbewertung .....</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>126</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>127</b>
10.1	Begriffe.....	127
10.2	Berechnungen Versuchshalle .....	130
10.3	Versicherung über die selbständige Abfassung der Diplomarbeit .....	148
10.4	CD-Rom mit Diplomdateien .....	149

## Abkürzungsverzeichnis

AGB	Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit
BBA	Brandbekämpfungsabschnitt
BMA	Brandmeldeanlage
DIN	Deutsches Institut für Normung
erf $t_F$	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer in min
ETK	Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102-2
LBO	Landesbauordnung Baden-Württemberg
LBOAVO	Allgemeine Ausführungsverordnung zur Landesbauordnung
MBO	Musterbauordnung
MRFC	Multi-Room-Fire-Code
NRA	Natürliche Rauchabzugsanlage
$q_R$	Rechnerische Brandbelastung in kWh/m <sup>2</sup>
RWA	Rauch- und Wärmeabzugsanlage
SK <sub>b</sub> 1-3	Brandsicherheitsklasse der Bauteile
$t_{\ddot{a}}$	Äquivalente Branddauer in min
VIB	Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz e. V.
[...]	Siehe Literaturverzeichnis auf Seite 126

# 1 Einführung

## 1.1 Warum werden Brandschutzkonzepte benötigt?

Deutschland verzeichnet durchschnittlich 9,8 Brandtote je 1 Mio. Einwohner und Jahr [1]. Bei einer Einwohnerzahl von rund 82,5 Mio. ([2], Stand vom 31.12.02) sind das ungefähr 800 Brandtote und 6.000 Brandschwerverletzte pro Jahr.

Die häufigste Todesursache ist mit rund 62 % das Erstickten, das heißt Vergiftung durch Kohlenstoffmonoxid bzw. das Einatmen durch Rauchgase. Todesfolge infolge Verbrennungen werden nur 26 % und durch körperliche Verletzungen nur 11 % hervorgerufen.

Obwohl im Straßenverkehr mit dem Zehnfachen an Todesfällen zu rechnen ist, werden die Maßstäbe überall dort, wo mehrere Menschen gleichzeitig zu Tode kommen können, in der Gesellschaft verschärft angesehen. Der Bereich Brandschutz hat deshalb in der Bevölkerung einen hohen Stellenwert. Wenn gleich auch die meisten Todesfälle in Wohngebäuden zu verzeichnen sind (70 % werden in der Nacht vom Rauch überrascht), werden große Anstrengungen, insbesondere auch im Industriebau, unternommen um dort die Anzahl der Personen- und Sachschäden zu reduzieren.

Gleichzeitig wurden in den letzten 20 Jahren immer komplexere und größere Bauten errichtet. Es müssen deshalb immer neuere und wissenschaftlich angepasste Methoden entwickelt werden um den Brandschutz sicherstellen zu können.

Für den Bereich Industriebau, der nach der Landesbauordnung Baden-Württemberg in § 38 Gebäude besonderer Art und Nutzung einzustufen ist, zählen neben den normativen Vorschriften heute auch Ingenieurmethoden zum Stand der Technik.

Aktuell geltende und verwendete Vorschriften für den Industriebau sind:

- Landesbauordnung Baden-Württemberg Fassung Oktober 2003
- Industriebaurichtlinie Fassung März 2000
- DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ Ausgabe Mai 1998
- DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“ Ausgabe Juni 2003

Brandschutzkonzepte sind das Zusammenspiel aller für den Brandschutz relevanten Maßnahmen zur Umsetzung der Schutzziele des Baurechts. Diese können mit Vorschriften aber auch Ingenieurmethoden nachgewiesen werden.

Ingenieurmethoden werden unterschieden in:

- Analytische Methoden
- Brandsimulationsmodelle (z.B. Multi-Room-Fire-Code)

Die Diplomarbeit soll die normativen Verfahren und die Ingenieurmethoden (Brandsimulation mit MRFC) im Industriebau zeigen, gegenüberstellen und überprüfen ob diese heute schon Anwendung finden können.

## 1.2 Schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte

Der Aufbau von Brandschutzkonzepten für Gebäude bzw. Sonderbauten sind in der vfdb-Richtlinie-01/01<sup>1</sup> vorgestellt. Darin sind die Grundsätze, der Anwendungsbereich und Inhalt eines Brandschutzkonzeptes geregelt.

Die Brandschutzkonzepte müssen sich dabei an tatsächlichen Schutzzielen orientieren. Diese allgemeinen Schutzziele werden in der Landesbauordnung § 15 *Brandschutz* wie folgt definiert:

Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, dass

- der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird,
- die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

In [1] wird vorgeschlagen, wie zielorientierte Brandschutzkonzepte aufzubauen sind.

1. Es müssen die Schutzziele des Brandschutzdesigns festgelegt werden. Dies können sein:
  - Schutz der tragenden Konstruktion,
  - Schutz der Personen im betrachteten Bauwerk im Brandfall (Flucht und Rettung),
  - Möglichkeit der Feuerwehr zur Brandbekämpfung und Rettung (Fremdrettung),
  - Schutz der umgebenden Bauwerke (Verhinderung der Brandausbreitung),
  - Schutz vor Freisetzung gefährlicher Stoffe im Brandfall,
  - Schutz vor Verlust von Einrichtungen im Gebäude (Sachschutz),
  - Schutz der Umwelt (als umfassender Begriff, z. B. Löschwasserrückhaltung).
2. Es müssen geeignete Maßnahmen zum Erreichen der Schutzziele gewählt werden. Maßnahmen können sein:
  - Bauteil- und Baustoffauswahl (z. B. Baustoffe und Bauteile mit erhöhtem Feuerwiderstand),
  - Rauch- und Wärmeabzugsanlagen,
  - bauliche Maßnahmen (z. B. zusätzliche Flucht- und Rettungswege),
  - Löschmaßnahmen (Sprinklerung),

---

<sup>1</sup> vfdb-Richtlinie 01/01 = Verein zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. entworfene Richtlinie über Brandschutzkonzepte.

- Detektionssysteme (Rauchmelder).
3. Nach Festlegung der Schutzziele und Auswahl geeigneter Maßnahmen muss die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahmen nachgewiesen werden. Nachweise können durch:
- Technische Regelwerke, Normen,
  - Experimente (bei gesicherter Übertragbarkeit),
  - Berechnungsmethoden wie:
    - genormte Berechnungsverfahren (z. B. nach DIN 18 230, Eurocodes),
    - analytische Berechnungsverfahren (Plumeformeln usw.),
    - Brandsimulationsberechnungen (z. B. mit MRFC),
  - Risikoanalysen,
- erfüllt werden.

Ein zielorientiertes Brandschutzkonzept muss individuell für jedes Bauwerk festgelegt werden. Dabei ist die Festlegung der konkreten Schutzziele mit der Behörde und dem Bauherrn abzustimmen. Je nach Wahl der unterschiedlichen Nachweise, zum Erreichen der Schutzziele nach LBO<sup>2</sup>, müssen diese konkretisiert werden.

Das Konkretisieren von Grenzwerten ist notwendig um die Anforderungen klar zu definieren. Der Nachweis über die Industriebaurichtlinie wird erfüllt, wenn die berechnete zulässige Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes und eventuelle Anforderungen der Bauteile dem tatsächlichen Industrieobjekt entsprechen. Wenn der Nachweis mit Brand-simulationsprogrammen erbracht werden soll, ist das Programm nicht in der Lage eine zulässige Fläche als Ergebnis berechnen/ auszugeben. Die Parameter wie Temperaturen am Boden, Sichtweiten oder Schichtdicken der raucharmen Schicht werden von einem Simulationsprogramm errechnet. Diese können mit den konkretisierten Schutzzielen auf Einhaltung überprüft werden.

In [1] sind auch Vorschläge zur Konkretisierung dieser Schutzziele enthalten. Die Konkretisierung unterscheidet 3 Bereiche mit unterschiedlichen Anforderungen:

1. Bereich: Rettungswege bzw. zur Rettung und Brandbekämpfung benötigte Verkehrswege.

Diese dürfen nicht verrauchen, wobei die „Rauchfreiheit“ als gegeben vorausgesetzt wird, wenn über dem Boden, d. h. in der raucharmen Schicht für eine Dauer von mindestens 30 Minuten

- eine CO<sub>2</sub>-Konzentration in der raucharmen Schicht von < 0,5%,
- die Sichtweiten mindestens der Rettungsweglängen entsprechen,

---

<sup>2</sup> LBO = Landesbauordnung Baden-Württemberg

- die Temperaturen der raucharmen Schicht  $< 50^{\circ}\text{C}$  liegen,
  - die Mindestdicke der raucharmen Schicht bei  $> 2,5$  m liegt.
2. Bereich: Umgebung des Brandherdes.

Für die Feuerwehr muss die Umgebung begehbar bleiben, wobei die „Begehbarkeit“ als gegeben vorausgesetzt wird wenn über dem Boden, d. h. in der raucharmen Schicht für eine Dauer von mindestens 60 Minuten die

- Temperaturen der raucharmen Schicht bei  $< 100^{\circ}\text{C}$  liegen,
  - Sichtweite mindestens 10 bis 20 m beträgt,
  - Temperatur der heißen Rauchgasschicht  $< 300^{\circ}\text{C}$  beträgt,
  - Mindestdicke der raucharmen Schicht bei  $> 2$  m liegt.
3. Bereich: Tragkonstruktion:

Die Standsicherheit der Tragkonstruktion muss mindestens für die Dauer der manuellen Brandbekämpfung gewährleistet sein.

Auf die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Nachweismöglichkeiten wird in den jeweiligen Kapiteln eingegangen. Die Einführung in dieses Thema kann nur am Rande erfolgen. Es sollte gezeigt werden, dass das Erstellen von Brandschutzkonzepten keine Routinearbeit darstellt. Aus der Vielzahl der möglichen Maßnahmen und Nachweisen müssen individuell für jedes Objekt die Schutzziele gewählt und mit geeigneten Maßnahmen nachgewiesen werden.

Es ist nicht auszuschließen, dass nicht immer alle Nachweise rechnerisch erfüllt werden können. Ist dies der Fall müssen vom Brandschutzingenieurs geeignete Ersatzmaßnahmen getroffen werden. Die geforderte Brandschutzsicherheit muss dabei eingehalten werden.

Die jeweiligen Vorschriften und deren Inhalte, wie zum Beispiel die Landesbauordnung Baden-Württemberg, werden zum Verständnis dieser Diplomarbeit als bekannt vorausgesetzt.

## 2 Normative Verfahren

### 2.1 Überblick normativer Verfahren

Die normativen Verfahren bilden die Grundlage für die Nachweisführung der baurechtlichen Anforderungen. Für den Brandschutz im Industriebau sind folgende zu beachten:

- Landesbauordnung Baden-Württemberg als Gesetz,
- Industriebaurichtlinie als Richtlinie,
- DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ als DIN-Norm,
- DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“ als DIN-Norm.

Als oberstes Gesetz gilt die jeweilige Landesbauordnung. Da aber der Bereich Industriebau in § 38 Gebäude besonderer Art und Nutzung fällt, muss für Industrieobjekte die Industriebaurichtlinie erfüllt werden. Die Industriebaurichtlinie greift wiederum, in ihrem genaueren Nachweisverfahren, auf die Berechnungen nach DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ zurück. Zusätzlich kann (muss ab 1.600 m<sup>2</sup> Fläche) für die Entrauchung anstelle der Industriebaurichtlinie die Entrauchung mit z. B. der DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“ nachgewiesen werden. Die Wahl über die natürliche oder maschinelle Entrauchung (DIN 18 232-2 oder DIN 18 232-5) kann den gegebenen Situationen angepasst werden.

Bei den weiteren Betrachtungen kann lediglich ein Einblick in die unterschiedlichen Verfahren gegeben werden. Es soll nicht der Inhalt der jeweiligen Verfahren eindeutig und erschöpfend erklärt werden, vielmehr werden unter anderem die Grundsätze an Hand eines Beispiels mit der „Versuchshalle“<sup>3</sup> erläutert. Die Berechnungen und Ergebnisse der Versuchshalle werden nachvollziehbar dargestellt und erklärt. Es soll ein exaktes Nachrechnen möglich sein.

---

<sup>3</sup> Versuchshalle, ist der Name der erzeugten Industriehalle. An Hand dieser Halle sind verschiedene Berechnungen erfolgt.

### 2.1.1 Industrieaurichtlinie

Die Industrieaurichtlinie hat das Ziel die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Industriebauten zu regeln, insbesondere werden

- die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile und die Brennbarkeit der Baustoffe,
- die Größe der Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte,
- die Anordnung, Lage und Länge der Rettungslänge,

geregelt.

Industriebauten, die den Anforderungen der Industrieaurichtlinie entsprechen, erfüllen die Schutzziele des § 15 Brandschutz der LBO.

WICHTIG: „Der Nachweis, dass ein Industriebau den Anforderungen der MIndBauRL entspricht, gilt als Brandschutzkonzept.“ Somit ist eine Berechnungsbasis für Brandschutzkonzepte für den Industriebau geschaffen. In der IndBauRL stehen drei brandschutztechnische Nachweismöglichkeiten zur Verfügung um den Nachweis eines Brandschutzkonzeptes zu erfüllen.

1. Ein vereinfachtes Nachweisverfahren – Berechnung nach Abschnitt 6,
2. Ein genaues, sogenanntes vollinhaltliches Nachweisverfahren – Berechnung nach Abschnitt 7,
3. Ingenieurmethoden.

Je einfacher das gewählte Nachweisverfahren ist, liegen die ermittelten Anforderungen an den Brandschutz in der Regel zunehmend auf der sicheren Seite.

In Kapitel 2 *Geltungsbereich* der IndBauRL wird festgelegt, dass die Industrieaurichtlinie für alle Industriebauten<sup>4</sup> gilt. Aber sie gilt nicht für

- Industriebauten, die lediglich der Aufstellung technischer Anlagen dienen und von Personen nur vorübergehend zu Wartungs- und Kontrollzwecken begangen werden,
- Industriebauten, die überwiegend offen sind, wie überdachte Freianlagen oder Freilager oder die aufgrund ihres Verhaltens im Brandfall diesen gleichgestellt werden können,

da für diese Anlagen wegen ihren niedrigen Gefahrenrisikos im Einzelfall weitergehende Erleichterungen gestattet werden können.

Ebenfalls gilt sie nicht für

---

<sup>4</sup> Industriebauten sind Gebäude oder Gebäudeteile im Bereich der Industrie und des Gewerbes, die der Produktion (Herstellung, Behandlung, Verwertung, Verteilung) oder Lagerung von Produkten oder Gütern dienen.

- Hochregallager mit Lagerguthöhen von mehr als 9,0 m (Oberkante Lagergut).

Diese Ausnahme stammt aus der Berechnung nach DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ welche als Grundlage für das genaue Nachweisverfahren dient. Für das Berechnungsverfahren nach DIN 18 230 sind die Abbrandfaktoren ab einer Lagerhöhe von 9,0 m nicht mehr ermittelbar. Ab dieser Höhe kann von einer Regalsprinklerung ausgegangen werden.

Im Rahmen der Anwendung der Richtlinie werden allgemeine Anforderungen, mit zum Teil baulichen Auswirkungen, an die folgenden Punkte gestellt:

- Löschwasserbedarf,  
z. B. ist für eine Abschnittsfläche bis 2.500 m<sup>2</sup> mindestens über den Zeitraum von zwei Stunden 96 m<sup>3</sup>/h sicher zu stellen. Dies entspricht einem Löschwasserbedarf von 1.600 l/min, was für die Einsatztaktik für die Feuerwehr wichtig ist.
- Lage und Zugänglichkeit,  
z. B. muss jeder BBA<sup>5</sup> mit mindestens einer Seite an einer Außenwand liegen und von dort für die Feuerwehr zugänglich sein. Erleichterungen sind möglich.
- Rettungswege,  
z. B. muss von jeder Stelle mindestens ein Ausgang ins Freie, ein notwendiger Treppenraum, ein anderer Brandabschnitt oder ein anderer BBA bei Räumen mit mittleren lichten Raumhöhe bis zu 5 m in höchstens 35 m Entfernung erreichbar sein. Erleichterungen bei anderer Raumhöhe und/ oder brandschutzrelevanten Infrastruktur (BMA<sup>6</sup>,...) sind ebenfalls möglich.
- Dächer und Wandbauteile,  
z. B. Ausführung von Brandwänden, Dachaufbauten
- Rauchabzug, Brandmelde- und Feuerlöschanlagen
- Betriebliche Maßnahmen

Wie oben schon erwähnt sind unterschiedliche Nachweismöglichkeiten nach Industriebaurichtlinie möglich. Es soll nun kurz auf die Verfahren nach Abschnitt 6 und Abschnitt 7 der IndBauRL eingegangen werden. Die Ingenieurmethoden werden in Kapitel 3 „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ ab Seite 23 behandelt.

---

<sup>5</sup> BBA = Brandbekämpfungsabschnitt

<sup>6</sup> BMA = Brandmeldeanlage

### 2.1.1.1 Verfahren nach Abschnitt 6:

Bei dem vereinfachten Verfahren nach Abschnitt 6 wird in Abhängigkeit an die Anforderungen der Bauteile und den Sicherheitskategorien die zulässige Größe der Brandabschnittsfläche aus Tabelle 1 IndBauRL ermittelt. Die Sicherheitskategorien sind von der brandschutztechnischen Infrastruktur abhängig. Die Fußnoten über zulässige Breiten, die vorhandenen Wärmeabzugsflächen und zulässigen Fläche müssen ebenfalls erfüllt sein. Erst wenn die Fußnoten und die vorhandene Fläche  $\leq$  der zulässigen Fläche nach Tabelle 1 Abschnitt 6 erfüllt sind, gilt der Industriebau mit der vorhandenen Fläche nachgewiesen nach der Industriebaurichtlinie.

Sicherheitskategorien werden unterteilt in:

- Sicherheitskategorie K1: ohne besondere Maßnahmen für Brandmeldung und Brandbekämpfung
- Sicherheitskategorie K2: mit automatischer Brandmeldeanlage<sup>7</sup>
- Sicherheitskategorie K3: mit automatischer BMA und Werkfeuerwehr (unterteilt in Kategorien K3.1-K3.4 in Abhängigkeit der Einsatzkräfteanzahl.
- Sicherheitskategorie K4: mit selbsttätiger Feuerlöschanlage

Tabelle 2.1 IndBauRL Abschnitt 6 Tabelle 1

Sicherheitskategorie	Anzahl der Geschosse								
	erdgeschossig		2 geschossig		3 geschossig		4 geschossig		5 geschossig
	Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile								
	F 0	F 30	F 30	F 60	F 90	F 60	F 90	F 90	F 90
K 1	1.800 <sup>1)</sup>	3.000	800 <sup>2)3)</sup>	1.600 <sup>2)</sup>	2.400	1.200 <sup>2)3)</sup>	1.800	1.500	1.200
K 2	2.700 <sup>1)</sup>	4.500	1.200 <sup>2)3)</sup>	2.400 <sup>2)</sup>	3.600	1.800 <sup>2)</sup>	2.700	2.300	1.800
K 3.1	3.200 <sup>1)</sup>	5.400	1.400 <sup>2)3)</sup>	2.900 <sup>2)</sup>	4.300	2.100 <sup>2)</sup>	3.200	2.700	2.200
K 3.2	3.600 <sup>1)</sup>	6.000	1.600 <sup>2)</sup>	3.200 <sup>2)</sup>	4.800	2.400 <sup>2)</sup>	3.600	3.000	2.400
K 3.3	4.200 <sup>1)</sup>	7.000	1.800 <sup>2)</sup>	3.600 <sup>2)</sup>	5.500	2.800 <sup>2)</sup>	4.100	3.500	2.800
K 3.4	4.500 <sup>1)</sup>	7.500	2.000 <sup>2)</sup>	4.000 <sup>2)</sup>	6.000	3.000 <sup>2)</sup>	4.500	3.800	3.000
K 4	10.000	10.000	8.500	8.500	8.500	6.500	6.500	5.000	4.000

<sup>1)</sup> Breite des Industriebaus  $\leq$  40 m und Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18 230-1)  $\geq$  5 %  
<sup>2)</sup> Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18 230-1)  $\geq$  5 %  
<sup>3)</sup> Für Gebäude geringer Höhe ergibt sich nach § 25 Abs. 1 i. V. m. § 28 Abs. 1 Nr. 2 MBO eine zulässige Größe von 1.600 m<sup>2</sup>

Es ist aber zu beachten, daß im Verfahren nach Abschnitt 6 keine Brandlastermittlung erfolgt. Das Bauwerk wird unabhängig vom Nutzen beurteilt. Dies kann zu einer Fehlinterpretation führen. Wenn nun nach Abschnitt 6 eine zulässige Feuerwiderstandsdauer

<sup>7</sup> gilt auch erfüllt, wenn durch ständige Personalbesetzung eine sofortige Brandentdeckung und Weitermeldung an die Feuerwehr sichergestellt ist.

der Bauteile von F 30 zulässig ist, gleichzeitig jedoch nach Abschnitt 7 (Nachweis mit ermittelter Brandlast) eine Feuerwiderstandsdauer F 60 erforderlich wäre, kann davon ausgegangen werden, daß der Brandabschnitt keine ausreichenden Zeitreserven für Rettungs- und Löschmaßnahmen hat. Unabhängig hiervon ist das Verfahren nach Abschnitt 6 aber als Nachweis zulässig, die Baurechtsbehörde kann die Art des Nachweises nicht vorschreiben.

### 2.1.1.2 Verfahren nach Abschnitt 7:

Das Verfahren nach Abschnitt 7 ist der genaue, sogenannte vollinhaltliche Nachweis. Es werden

- die äquivalente Branddauer  $t_a$  zur Bestimmung der zulässigen Fläche und
- die rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $t_F$  zur Bestimmung der Anforderungen an die Bauteile nach den Brandsicherheitsklassen

für einen Brandbekämpfungsabschnitt ermittelt.

Das Verfahren nach Abschnitt 7 setzt eine Berechnung nach DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ voraus. Dabei darf der genaue Nachweis nach Abschnitt 7 nur angewandt werden, wenn die erforderliche Feuerwiderstandsdauer nach DIN 18 230 höchstens 90 min beträgt. Die maximale Feuerwiderstandsdauer von 90 min rührt von den grundsätzlichen Sicherheitsbetrachtungen her. Mit einer Versagenswahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$  wird das sich aus einem bauordnungsrechtlich zulässigen Brandabschnitt eines Gebäudes mit

- $n = 4$  Geschossen,
- einer Brandbelastung  $q_R = 300 \text{ kWh/m}^2$ ,
- tragenden und aussteifenden Bauteile in der Feuerwiderstandsklasse F 90 (nach DIN 4102) und
- einer durchschnittlich vorhandenen brandschutztechnischen Infrastruktur

das ermittelte Gesamtrisiko auf die zu bestimmenden Feuerwiderstände der Bauteile und die zulässige Brandbekämpfungsabschnittsfläche transformiert.

Dabei unterscheidet die Industriebaurichtlinie Bauteile nach ihren brandschutztechnischen Anforderungen. Die Einstufung erfolgt in sogenannten Brandsicherheitsklassen SK<sub>b</sub>3 bis SK<sub>b</sub>1. An die Bauteile der SK<sub>b</sub>3 werden sehr hohe Anforderungen gestellt, da dies u.a. Wände und Decken sind, die Brandbekämpfungsabschnitte zu den Seiten nach oben und nach unten von anderen Brandbekämpfungsabschnitten trennen. Hingegen werden an die Bauteile der SK<sub>b</sub>1 geringe Anforderungen gestellt. Dies können Bauteile des Dachtragwerkes sein, sofern deren Versagen nicht zum Einsturz der übrigen Dachkonstruktion führt.

Die zulässige Fläche je Geschoss in einem ein- oder mehrgeschossigen Brandbekämpfungsabschnitt errechnet sich aus dem Grundwert für die Fläche von 3.000 m<sup>2</sup> mit den Faktoren F1 bis F5 nach folgender Gleichung:

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 3.000 \text{ m}^2 * F1 * F2 * F3 * F4 * F5$$

Bei den Faktoren werden die äquivalente Branddauer  $t_a$ , die brandschutztechnische Infrastruktur, die Höhenlage des Fußbodens des untersten Geschosses eines BBA, Anzahl der Geschosse des BBA und die Ausführung von Öffnungen zwischen den Geschossen mehrgeschossiger Brandbekämpfungsabschnitte berücksichtigt.

Anforderungen an die Bauteile werden nach Tabelle 8 IndBauRL bestimmt.

Tabelle 2.2 IndBauRL Abschnitt 7 Tabelle 8 Erforderliche Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen

rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer $t_F$ nach DIN 18230-1 [min]	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen, die BBA's trennen oder überbrücken, und von Abschlüssen	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen in der Brandsicherheitsklasse SK <sub>b</sub> 3, die nicht in Spalte 2 einzuordnen sind	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen in der Brandsicherheitsklasse SK <sub>b</sub> 2 und SK <sub>b</sub> 1
1	2	3	4
≤ 15	F 30-A <sup>1)</sup> T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30	keine Anforderungen	keine Anforderungen
> 15 bis ≤ 30	F 30-A <sup>1)</sup> T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30	F 30 - AB <sup>2) 3)</sup>	F 30 - B T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30
> 30 bis ≤ 60	F 60-A <sup>1)</sup> T 60 R 60, S 60 K 60, L 60, I 60	F 60 - AB <sup>2) 3)</sup>	F 60 - B T 60 R 60, S 60 K 60, L 60, I 60
> 60 AB <sup>4)</sup>	F 90-A <sup>1)</sup> T 90 R 90, S 90 K 90, L 90, I 90	F 90 - AB <sup>3)</sup>	F 90 - B T 90 R 90, S 90 K 90, L 90, I 90

<sup>1)</sup> Die Wände sind nach DIN 4102 Teil 3 Abschnitt 4.3 zu prüfen. Dabei sind die Bedingungen in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.4 von DIN 4102 Teil 3 einzuhalten.

<sup>2)</sup> Für Bauteile in Industriebauten bis zu 2 Geschossen in F 30-B bzw. F 60-B.

<sup>3)</sup> F 30, F 60, F 90 mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen.

<sup>4)</sup> Die Werte der Spalte 2 bis 4 gelten auch für eine rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $t_F$  von mehr als 90 Minuten, die sich insbesondere aus einem Teilflächennachweis ergeben können.

Erdgeschossige Industriebauten sind auch ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile möglich, wenn

- die Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen (nach DIN 18 230-1) und
- die zulässige Breite des Industriebaus

dabei eingehalten werden. Auch bei dieser Vereinfachung des Nachweises ist wieder zu beachten, wenn nach Abschnitt 7 „F 60“ notwendig wäre und in „F 0“ nach Tabelle 9 nachgewiesen wird, die Zeit für Brandbekämpfung und Menschenrettung im ungünstigsten Fall zu gering wäre. Speziell, wenn in „F 0“ gebaut wird, kann bei einem Brand davon ausgegangen werden, dass das Tragwerk vollständig versagt und mit einem Totalverlust des Gebäudes zu rechnen ist.

Tabelle 2.3 IndBauRL Abschnitt 7 Tabelle 9 Zulässige Größe der Flächen

Sicherheitskategorie	äquivalente Branddauer $t_a$ [min]			
	15	30	60	90
K 1	9.000	5.500	2.700	1.800
K 2	13.500	8.000	4.000	2.700
K 3.1	16.000	10.000	5.000	3.200
K 3.2	18.000	11.000	5.400	3.600
K 3.3	20.700	12.500	6.200	4.200
K 3.4	22.500	13.500	6.800	4.500
K 4 <sup>1)</sup>	30.000	20.000	10.000	10.000
Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen nach DIN 18230-1 [%]	1	2	3	4
Zulässige Breite des Industriebaus [m]	80	60	50	40

<sup>1)</sup> Die Anforderungen hinsichtlich der Wärmeabzugsfläche und der Breite des Industriebaus gelten nicht für Brandbekämpfungsabschnitte der Sicherheitskategorie K 4.

Die Tabelle 9 der IndBauRL kann als Verbindung zur Berechnung nach Abschnitt 6 betrachtet werden. Nach Abschnitt 6 wäre für erdgeschossig, K1 in „F 0“ 1.800 m<sup>2</sup> zulässig. Dieser Wert ist in Tabelle 9 für Brandbekämpfungsabschnitte ohne Bemessung der Bauteile mit K1 und  $t_a = 90$  min wiederzufinden.

Anmerkung zu Ingenieurmethoden:

Zitat aus der IndBauRL: *“Anstelle der Verfahren nach den Abschnitten 6 und 7 können auch Methoden des Brandschutzingenieurwesens eingesetzt werden zum Nachweis, dass die Ziele nach Abschnitt 1 erreicht werden (§ 3 Abs. 3 Satz 3 MBO).“*

Es ist also auch erlaubt Ingenieurmethoden als Nachweis heranzuziehen. Dazu aber mehr in Kapitel 3 „Ingenieurmethoden des Brandschutzes“ ab Seite 23.

### 2.1.2 DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“

Die Berechnung nach DIN 18 230-1 ist die Grundlage für die Berechnung nach Ind-BauRL. Es erfolgt zuerst eine Brandlastermittlung. D. h. es werden die Materialien und Gegenstände im Industriebau aufgenommen und nach ihren Brandeigenschaften bewertet. Auf die Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes bezogen ergibt sich so die Brandbelastung  $q_R$ . Erklärung zur Brandlastermittlung erfolgt an einem Objektbeispiel im Kapitel 4.3.1 „Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung  $q_R$ “ ab Seite 46. Für die Berechnung in DIN 18 230-1 ist ein Global- und ein Teilflächennachweis enthalten. Der Teilflächennachweis ist dabei nur für die Bemessung einer Teilfläche erforderlich. Da es sich oft um einen Brandbekämpfungsabschnitt handelt, kommt der globale Nachweis deshalb für die Bewertung nach IndBauRL überwiegend in Frage. Für jeden Brandbekämpfungsabschnitt ist ein globaler Nachweis zur Bestimmung der Brandschutzklasse zu führen. Bei der Berechnung nach DIN 18 230-1 werden die äquivalente Branddauer  $t_{\ddot{a}}$ , die erforderliche Feuerwiderstandsdauer und Brandschutzklasse für  $SK_b3$  berechnet.

Die Zeit  $t_{\ddot{a}}$  ist das Ergebnis der folgenden zu berechnenden Gleichung:

$$t_{\ddot{a}} = q_R \text{ [kWh/m}^2\text{]} * c \text{ [min m}^2\text{/(kWh)]} * w \text{ [-]}$$

Wobei

- $t_{\ddot{a}}$  definiert ist, als die Zeitdauer eines Brandes infolge der Einheitstemperaturzeitkurve, in dem die maximale Temperatur (im Querschnitt des Bauteils) der maximalen Temperatur infolge eines Naturbrandes entspricht,

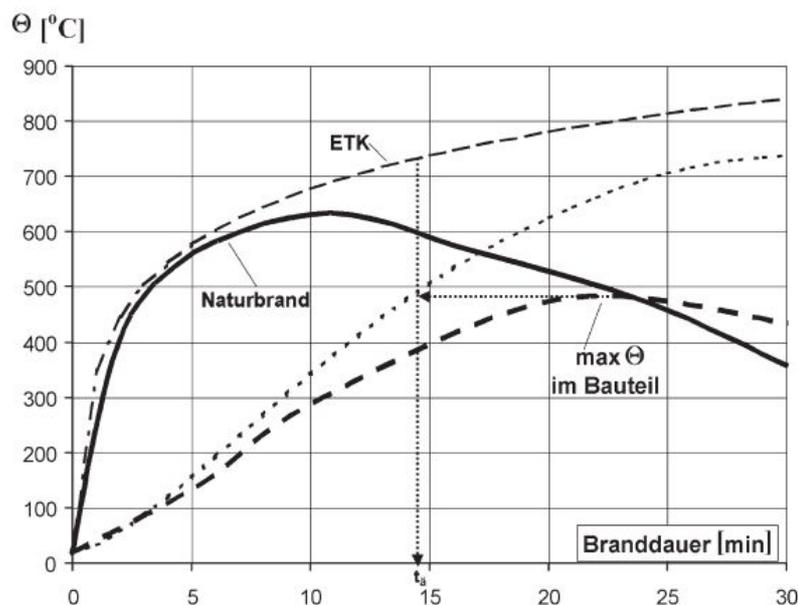


Abbildung 2.1  $t_{\ddot{a}}$  (ETK, Naturbrandkurve und zugehörige Temperaturverläufe im Bauteil) aus [12]

- $q_R$  aus der Brandlastermittlung berechnet wird, mit:

$$q_R = q_{R,u} + q_{R,g} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,u} = \frac{\text{Summe}(M_i * H_{ui} * m_i)}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,g} = \frac{\text{Summe}(M_i * H_{ui} * m_i * \psi_i)}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

- Umrechnungsfaktor  $c$ , welcher von den Einflussgruppen der Umfassungsbauteile abhängt,
- Wärmeabzugsfaktor  $w$ , welcher von dem Verhältnis der vertikalen Öffnungsflächen  $A_v$  und der horizontalen Öffnungsflächen  $A_h$  bezogen zur Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes berechnet wird. Da diese Flächen von der äquivalenten Branddauer (das Ergebnis der Berechnung) abhängt, muss die Berechnung iterativ erfolgen.

Tabelle 2.4 DIN 18 230 Tabelle D.3: Anrechenbarkeit von Öffnungen bei der Berechnung des  $w$ -Faktors

Zeile	Art des Öffnungsverschlusses	Öffnungsbedingungen					
		$t_a < 15 \text{ min}$	mit WF	$15 \leq t_a \leq 30$	mit WF	$t_a > 30 \text{ min}$	
1	ständig offen	100%	100%	100%	100%	100%	
2	von außen zu öffnen	100%	100%	100%	100%	100%	
3	Selbsttätig öffnende Abschlüsse (RWA)	100%	100%	100%	100%	100%	
4	Einfach-Fensterglas	100%	100%	100%	100%	100%	
5	Verglasung Schmelztemperatur < 300°C im Dach, obere Wandhälfte	100%	100%	100%	100%	100%	
6	Verglasung Schmelztemperatur < 300°C untere Wandhälfte	0%	0%	100%	100%	100%	
7	Zweischeiben-Isolierglas	35%	70%	50%	100%	100%	
8	Zerstörung bei $t_a > 15 \text{ min}$	0%	0%	100%	100%	100%	
9	Brandschutzverglasung	0%	0%	0%	0%	0%	
10	angriffshemmende Verglasung	0%	0%	0%	0%	0%	
11	Drahtglas mit kreuzweisen Drähten	0%	0%	0%	0%	0%	

Auf Grund der Öffnungsbedingungen der vorhandenen Öffnungen muss nach der Berechnung von  $t_{\ddot{a}}$  eine Bewertung erfolgen. In erster Linie sollte die berechnete äquivalente Branddauer in den Grenzen der angesetzter äquivalenten Branddauer entsprechen. Mit  $t_{\ddot{a}} < 15 \text{ min}$ ,  $15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30 \text{ min}$  oder  $t_{\ddot{a}} > 30 \text{ min}$ .

Wenn viele Öffnungen z. B. von Zweischeiben-Isolierglas (Zeile 7 Tabelle 2.4) eingebaut sind, kann es durchaus sein, dass die berechnete äquivalente Branddauer nicht den Grenzen der Öffnungsbedingen entsprechen. Bei diesem speziellen Fall muss die Bewertung entscheiden, welches  $t_{\ddot{a}}$  für die weitere Berechnung anzusetzen ist.

In folgender Tabelle in Zeile 1 stehen die berechneten Brandzeiten  $t_{\ddot{a}}$ , aus einer Berechnung mit vielen unterschiedlichen Öffnungen. In Spalte 2 mit  $t_{\ddot{a}} = 35,5 \text{ min}$ , ist  $t_{\ddot{a}}$  mit den Faktoren von  $t_{\ddot{a}} < 15 \text{ min}$  berechnet worden. In Spalte 3 mit  $t_{\ddot{a}} = 32,8 \text{ min}$ , ist  $t_{\ddot{a}}$  mit den Faktoren  $15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30 \text{ min}$  berechnet worden. In Spalte 4 mit  $t_{\ddot{a}} = 25,6 \text{ min}$ , ist  $t_{\ddot{a}}$  mit den Faktoren  $> 30 \text{ min}$  berechnet worden. Wie zu erkennen ist, ist nun der Fall eingetreten, dass das Ergebnis  $t_{\ddot{a}}$  nicht mit den Randbedingen der  $w$ -Faktoren übereinstimmt. Die Beurteilung in Zeile 3 zeigt, dass bei keinem der drei Fälle die Randbedingungen erfüllt sind. Um dennoch ein  $t_{\ddot{a}}$  als Ergebnis zu bekommen, muss für Fall 1 bis 3 untersucht werden, welches  $t_{\ddot{a}}$  und welcher  $w$ -Faktor als Ergebnis richtig ist.

Tabelle 2.5 Beispiel von  $t_{\ddot{a}}$  mit Beurteilung

	Berechnete äquivalente Branddauer		
$t_{\ddot{a},i} = 25,6 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 35,5 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 32,8 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 25,6 \text{ min}$
mit Faktoren von:	$t_{\ddot{a}} < 15 \text{ min}$	$15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30$	$t_{\ddot{a}} > 30 \text{ min}$
Beurteilung:	nein	nein	nein
somit $t_{\ddot{a}}$ "neu"	35,5	32,8	30,0
<b><math>t_{\ddot{a}}</math> maßgebend =</b>	<b>30,0 min</b>	<b>mit w maßgebend =</b>	<b>1,28</b>

Fall 1: berechnetes  $t_{\ddot{a}} = 35,5 \text{ min}$  mit den Faktoren für  $t_{\ddot{a}} < 15 \text{ min}$ .

→ zu erwartendes Ergebnis von  $t_{\ddot{a}}$  nicht erfüllt!

Fall 2: berechnetes  $t_{\ddot{a}} = 32,8 \text{ min}$  mit den Faktoren für  $15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30 \text{ min}$ .

→ zu erwartendes Ergebnis von  $t_{\ddot{a}}$  nicht erfüllt!

Fall 3: berechnetes  $t_{\ddot{a}} = 25,6 \text{ min}$  mit den Faktoren für  $t_{\ddot{a}} > 30 \text{ min}$ .

→ zu erwartendes Ergebnis von  $t_{\ddot{a}}$  nicht erfüllt!

Ein  $t_{\ddot{a}} \leq 30 \text{ min}$  darf in Fall 3 nicht angesetzt werden, weil durch den Brand bereits mindestens  $t_{\ddot{a}} = 30 \text{ min}$  erreicht sein muss, damit die betreffenden Öffnungen anrechenbar sind. Es muss aber nicht mit dem  $t_{\ddot{a}}$  von Fall 2 weitergerechnet werden, sondern es kann ein  $t_{\ddot{a}} = 30 \text{ min}$  angesetzt werden.

Die rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $\text{erf } t_F$  wird nach Gleichung (2 der DIN 18 230-1) ermittelt:

$$\text{erf } t_F = t_{\ddot{a}} * \gamma * \alpha_L$$

Dabei ist:  $\gamma$  Sicherheitsbeiwert für Bauteile der Brandsicherheitsklasse SKb3

$\alpha_L$  Zusatzbeiwert zur Berücksichtigung der Behinderung der Brandausbreitung aufgrund der brandschutztechnischen Infrastruktur.

Tabelle 2.6 IndBauRL Tabelle 2 BK

erf $t_F$ für SK <sub>b</sub> 3 [min]	Brandschutzklasse BK
$\leq 15$	I
$> 15 \text{ bis } \leq 30$	II
$> 30 \text{ bis } \leq 60$	III
$> 60 \text{ bis } \leq 90$	IV
$> 90$	V

Tabelle 2.7 Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2

$0 < \text{erf } t_F \leq 15 \text{ min}$	→	Keine Feuerwiderstandsklasse
$15 < \text{erf } t_F \leq 30 \text{ min}$	→	F 30
$30 < \text{erf } t_F \leq 60 \text{ min}$	→	F 60
$60 < \text{erf } t_F \leq 90 \text{ min}$	→	F 90
$90 < \text{erf } t_F \leq 120 \text{ min}$	→	F 120

Mit der berechneten erforderlichen Feuerwiderstandsdauer kann eine Einteilung in Brandschutzklassen nach IndBauRL und in Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 erfolgen.

### 2.1.3 DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“

In der Industriebaurichtlinie wird der Rauchabzug für Produktions- und Lagerräume geregelt. Für Räume mit mehr als 200 m<sup>2</sup> Fläche muss mindestens 2 % der Wand- und/oder Deckenöffnungen für die Rauchableitung ausgeführt sein. Bei einer Grundfläche von mehr als 1.600 m<sup>2</sup>, muss die ausreichende Rauchableitung mit geeigneten Methoden nachgewiesen werden, damit eine Brandbekämpfung möglich wird. Eine ausreichende Brandbekämpfung ist in der Regel dann möglich, wenn für jede zur Brandbekämpfung erforderliche Ebene eine raucharme Schicht von mindestens 2,5 m rechnerisch nachgewiesen wird.

Der rechnerische Nachweis kann mit der DIN 18 232 erfüllt werden. Es besteht die Möglichkeit natürliche Entrauchungsanlagen (früher RWA, heute NRA) oder mechanische Entrauchungsanlagen (MRA, Hochleistungsventilatoren) einzubauen. Die natürliche Entrauchung mit NRA ist in der Regel am wirtschaftlichsten. Die MRA sind sehr teuer, haben nur eine bestimmte Leistung und müssen bei der Bemessung des Tragwerkes berücksichtigt werden. Die übliche Anwendung ist deshalb der Einbau von NRA-Geräten. Diese sind in der Norm DIN 18 232 Teil 2 geregelt.

Je nach Raumhöhe, Höhe der erforderlichen raucharmen Schicht und der Bemessungsgruppe (beinhaltet die Brandentwicklungsdauer) wird nach Tabelle 3 die notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche  $A_w$  je Rauchabschnitt ermittelt. Dabei ist nach DIN 18 232-2 eine Abschnittsbildung mit Rauchschrüzen in Räume von max. 1.600 m<sup>2</sup> erforderlich.

Für Räume von mindestens 9,0 m Höhe und über 1.600 m<sup>2</sup> Fläche darf ab Bemessungsgruppe 4 bei einer mindestens 1,0 m hohen Rauchschrüze je 1.600 m<sup>2</sup> Fläche eine Erleichterung gewählt werden.

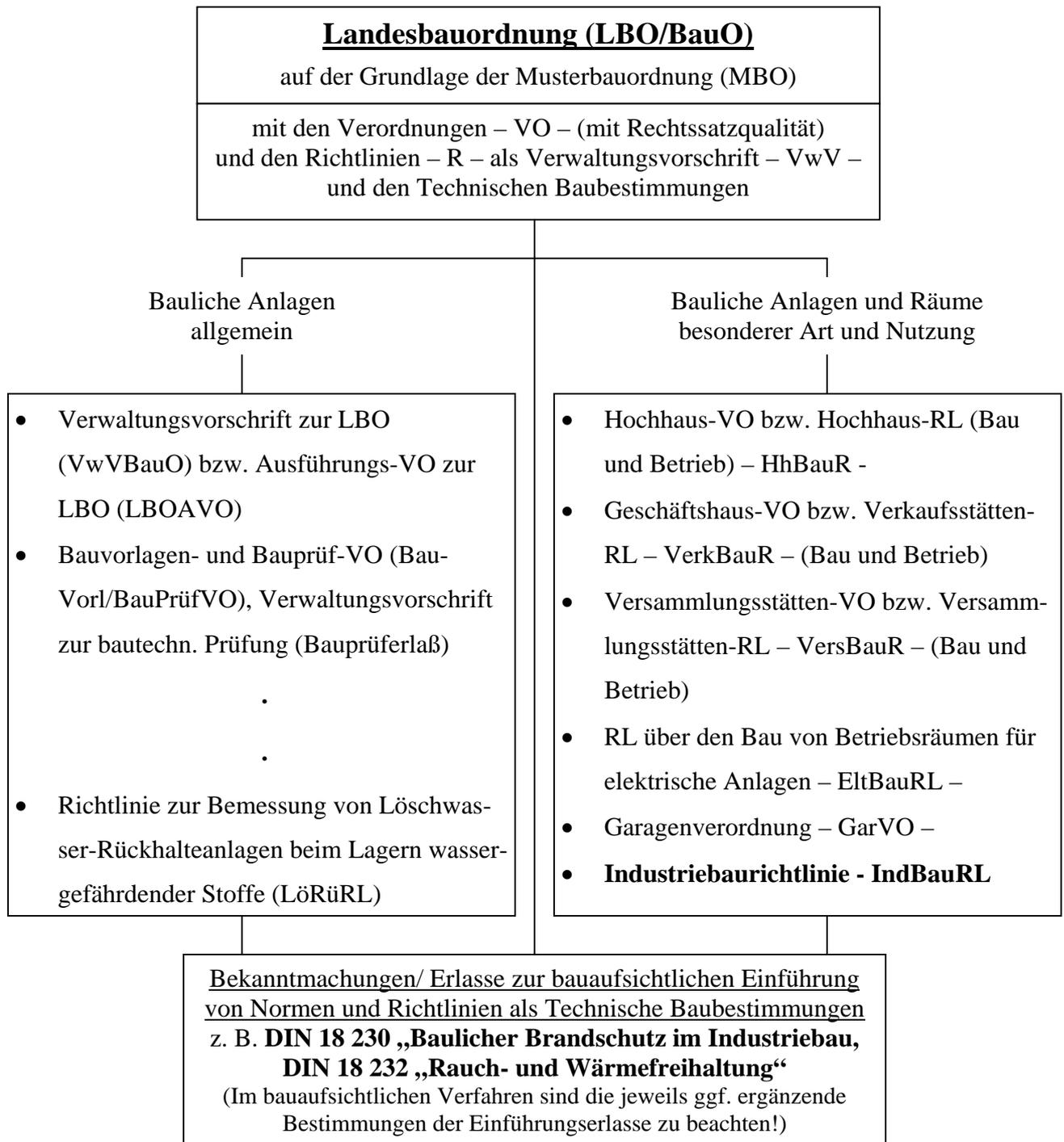
Ebenso wird auch der Einbau der NRA, das Zusammenwirken mit Löschanlagen, die Kennzeichnung, Prüfung, Wartung und Instandsetzung geregelt. Im Anhang A (normativ) werden Anforderungen an die NRA-Geräte beschrieben. Im Anhang B (informativ) stehen die Erläuterungen zu den Brandszenarien und Plumeformeln. Für den Vergleich von normativen und Ingenieurmethoden (mit Brandsimulationsberechnungen) ist dies ein wichtiger Teil. Für den Nachweis einer raucharmen Schicht muss nicht die DIN 18 232 benutzt werden, der Nachweis kann auch mittels Ingenieurmethoden erfolgen. Ein Vergleich beider Methoden wird im Kapitel 4 „Vergleich von normativen Verfahren und Ingenieurmethoden an einem Objektbeispiel“ ab Seite 40 erfolgen.

Tabelle 2.8 Auszug aus Tabelle 3 „Notwendige Rauchabzugsfläche  $A_w$  in m<sup>2</sup> je Rauchabschnitt“

Raumhöhe <sup>a</sup>	Höhe der Rauchschrüze	Höhe der raucharmen Schicht <sup>a</sup>	Bemessungsgruppe				
			1	2	3	4	5
$h$ in m	$z$ in m	$d$ in m					
3,0	0,5	2,5	4,8	6,2	8,2	11,0	15,4
3,5	1,0	2,5	3,4	4,4	5,8	7,8	10,9
3,5	0,5	3,0	6,7	8,7	11,3	15,0	20,4

## 2.2 Hierarchie und Berechnungsinhalte im Industriebau

**Hierarchie** (Teile übernommen aus [8])



## Berechnungsinhalte im Industriebau

### IndBauRL

- **Abschnitt 6**

- zulässige Brandabschnittsflächen
- Anforderungen an Wände, Pfeiler, Stützen, Decken und Haupttragwerk des Daches

- **Abschnitt 7**

Auf Grundlage der DIN 18 230 mit Ermittlung

- der Brandbelastung,
- vorhandene Wärmeabzugsfläche,
- brandschutztechnischen Infrastruktur,
- erforderliche Feuerwiderstandsklasse,
- Brandschutzklasse

werden

- Brandsicherheitsklassen,
- Brandbekämpfungsabschnitte,
- Anforderungen an Baustoffe und Bauteile,
- Zulässige Größe der Brandbekämpfungsabschnittsfläche berechnet.

- **Allgemeine Anforderungen**

- Löschwasserbedarf zur Brandbekämpfung
- Zulässige Flucht- und Rettungsweglängen
- Notwendige Zugänglichkeit
- Sonstige Brandschutzeinrichtungen (Rauchabzugsflächen, Feuerwehraufzüge)



### **DIN 18 232 „ Rauch- und Wärmefreihaltung“**

Ab einer Grundfläche von 1.600 m<sup>2</sup> muss die Rauchfreihaltung nachgewiesen werden. Entweder nach DIN 18 232 oder über Ingenieurmethoden.

## 3 Ingenieurmethoden des Brandschutzes

### 3.1 Überblick Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Zu den ingenieurmäßigen Berechnungsmethoden zählen heute:

- Analytische Methoden
- Brandsimulationsmodelle
  - Zonenmodelle,
  - Feldmodelle,
  - Systemcodes.

Die Berechnungsmethoden besitzen unterschiedliche Eigenschaften und Anwendungsbereiche. Sie haben aber alle gemein, dass sie in der Regel auf vereinfachten thermodynamischen Modellen, die der Realität angenähert sind, basieren.

Die analytischen Methoden haben nur die Möglichkeit die Verhältnisse von Feuer und Rauch zu einem bestimmten Zeitpunkt zu berechnen. Es werden Plumeformeln<sup>8</sup> dafür verwendet. Solche analytische Modelle wurden für das Erstellen der DIN 18 232-2 „Rauch- und Wärmeabzug von NRA“ und DIN 18 232-5 „Rauch- und Wärmeabzug von MRA“ verwendet.

Auch die Brandsimulationsmodelle beinhalten thermodynamische Berechnungsmodelle. Sie haben aber den großen Vorteil, daß sie zeitliche Abläufe von Beginn an berechnen können. Sie stellen dabei in bestimmten zeitlichen Vorgaben Energie- und Massenbilanzen auf und lösen die Berechnung iterativ.

Innerhalb der Brandsimulationsmodelle wird in Zonenmodelle, Feldmodelle und Systemcodes unterschieden.

#### Zonenmodelle:

Bei Zonenmodellen wird der Raum in bis zu drei Zonen unterteilt. Die kalte raucharme Schicht (1), die heiße Rauchgasschicht (2) und der Plumbereich (3). Das Bilden der Schichten wird vom Programm übernommen. Bei der Diplomarbeit wurde das Brandsimulationsmodell Multi-Room-Fire-Code (MRFC) verwendet. Das Programm wurde von Herrn Dr. Ulrich Max aus Bruchsal entwickelt und seither in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft Brandschutz (AGB) in Bruchsal und den Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz (VIB) weiterentwickelt und in der Praxis angewandt.

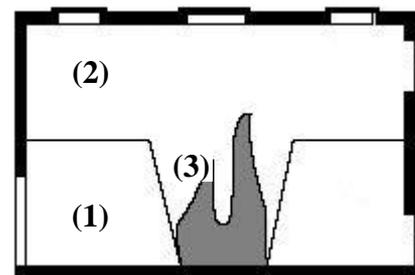


Abbildung 3.1 Skizze Zonen (aus [9])

<sup>8</sup> Plumeformeln = Formeln, die den Brandbereich berechnen können.

Eine Beschreibung der verwendeten Rechengrundlagen des Zonenmodells wird in Kapitel 3.3.1 „Einführung in MRFC“ ab Seite 27 erfolgen.

#### Feldmodelle:

Bei Feldmodellen wird der zu untersuchende Raum in kleine Volumina eingeteilt. Es werden partielle Differenzialgleichungen verwendet um die Bilanzen zu lösen. Die Differenzialgleichungen leiten sich aus der Strömungsmechanik und den Kontinuitätsbedingungen der Massen- und Energieerhaltung ab. Die Größe der Volumina hängt von der zu erwarteten Genauigkeit der Ergebnisse ab (Zellgrößen von 5 bis 25 cm sind dabei sinnvoll). Je kleiner die Volumina desto genauer die Ergebnisse. Leider nimmt dadurch der Rechenanteil erheblich zu. Die Rechenzeit mit Feldmodellen kann leicht bis zu 24 h betragen. Dadurch ist das Programm für Parameterstudien oder schnelle Aussagen nicht geeignet. Zum Vergleich beträgt die Rechenzeit mit MRFC nur 1-2 Minuten.

#### Systemcodes:

Systemcodes sind spezielle Codes für kerntechnische Fragestellungen (Energiefreisetzung in geschlossenen Systemen). Sie sind dadurch bei der Brandschutzbemessung nicht relevant.

Am häufigsten werden die Zonenmodelle bei der Fragestellung des Brandschutzes herangezogen. Es ist möglich mit den Zonenmodellen brandschutzrelevante Parameter mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Die Feldmodelle werden nur für spezielle Problemstellungen benützt, da ihr hoher Rechenaufwand eine Parameteruntersuchung eigentlich ausschließt. Zonenmodelle können von Ingenieuren oder anderen Fachleuten angewandt werden. Eine kritische Ergebnisbetrachtung ist notwendig, sie gehört jedoch leider nicht immer zur Tagesordnung. Die Programme können viel berechnen, manchmal sind sie aber zu instabil, dass heißt sie stürzen ab, wenn die allgemeinen Eingabedaten falsch oder zu ungenau sind. Eine plausible Kontrolle der Ergebnisse muss daher immer erfolgen. Die einzelnen Vor- und Nachteile sowie die Eigenschaften können vertieft in [1] nachgelesen werden.

### 3.2 Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens

Dass die Nachweise mit Ingenieurmethoden nachgewiesen werden können ist in der IndBauRL geregelt: „Anstelle der Verfahren nach den Abschnitten 6 und 7 können auch Methoden des Brandschutzingenieurwesens eingesetzt werden zum Nachweis, dass die Ziele nach Abschnitt 1 erreicht werden (§ 3 Abs. 3 Satz 3 MBO).“

Die Grundsätze wie die Nachweise zu führen sind, werden im Anhang 1 der Industriebaurichtlinie geregelt. In den folgenden Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.3 sind Textstellen direkt aus [4] entnommen und daher *kursiv* geschrieben:

#### 3.2.1 Grundsätze des Nachweises

*Auf der Grundlage von Methoden des Brandschutzingenieurwesens wird durch wissenschaftlich anerkannte Verfahren (z.B. Wärmebilanzrechnungen) nachgewiesen, dass für sicherheitstechnisch erforderliche Zeiträume,*

- *die vorhandene Rettungswege benutzbar sind,*
- *eine wirksame Brandbekämpfung möglich ist,*
- *die Standsicherheit der Bauteile gewährleistet ist.*

*Die in den sicherheitstechnisch erforderlichen Zeiträumen einzuhaltenden Sicherheitskriterien sind aufgrund anerkannter Kriterien des Brandschutzes und/oder anhand bestehender Vorschriften festzulegen. Diese Sicherheitskriterien können u.a. sein:*

*- Einhaltung einer raucharmen Schicht mit*

- *einer zulässigen Höchsttemperatur*
- *einer erforderlichen Mindestdicke*
- *einer einzuhaltenden CO<sub>2</sub> – Konzentration.*

*- Einhaltung bestimmter Grenzwerte in der Rauchgasschicht bezüglich*

- *zulässiger Höchsttemperatur*
- *erforderlicher Sauerstoffkonzentration*
- *zulässiger Kohlendioxydkonzentration*
- *zulässiger Kohlenmonoxydkonzentration*

*- Einhaltung der Tragfähigkeit unter den ermittelten Temperaturbelastungen für einzelne Bauteile und die Tragkonstruktion.*

*- Einhaltung bestimmter Grenzwerte für die Wärmestrahlung*

- *innerhalb des Brandraumes*
- *außerhalb des Brandraumes*

### 3.2.2 Voraussetzungen für den Nachweis

*Für den betrachteten BBA müssen aufgrund der vorgesehenen Nutzung die Brandszenarien festlegbar sein, welche insbesondere*

- *der Nutzung entsprechen und*
- *eine auf der sicheren Seite liegende Brandwirkung ergeben.*

Brandszenarien sind nicht vorgegeben und daher vom Anwender aufgrund seiner Fachkenntnis zu definieren. Da das Ergebnis sehr stark von den Programmeingaben abhängt (insbesondere vom Brandszenarium) ist es in der Regel erforderlich, hierauf ein besonderes Augenmerk zu legen. In vielen Fällen ist es daher erforderlich, eine Variation des Brandszenariums durchzuführen, um den Einfluss auf das Berechnungsergebnis zu erkennen.

### 3.2.3 Nachweisführung und Dokumentation

*Die Sicherheitskriterien und die Zeiträume zur Einhaltung der Sicherheitskriterien sind mit den zuständigen Behörden festzulegen. Auf der Grundlage dieser Sicherheitskriterien sind in den betrachteten Brandbekämpfungsabschnitten die relevanten Brandszenarien festzulegen. Es ist nachzuweisen, daß die Sicherheitskriterien*

- *generell im Brandbekämpfungsabschnitt,*
- *partiell in relevanten Raumbereichen*

*eingehalten werden.*

*Der Nachweis muss vollständig, nachvollziehbar und überprüfbar sein. ...*

Bei dem Vergleich von normativen Verfahren mit Ingenieurmethoden soll das Schutzziel „die raucharme Schichthöhe“ gewählt werden. An Hand der „Versuchshalle“ wird die raucharme Schicht mit beiden Verfahren berechnet. Die Höhe dieser raucharmen Schicht kann mit dem Brandsimulationsprogramm MRFC direkt berechnet werden und so kann der Vergleich mit der DIN 18 232-2 erfolgen.

### 3.3 Berechnungen mit MRFC

Für die Brandsimulationsberechnungen wurde mir MRFC zur Verfügung gestellt. MRFC basiert auf ein Zonenmodell. Um die Berechnungsmöglichkeiten von MRFC kennen zu lernen, werden die physikalischen Grundlagen von MRFC kurz erklärt.

#### 3.3.1 Einführung in MRFC

##### 3.3.1.1 Modellierung von Räumen und Raumbereichen (aus [9] entnommen)

*Zur Simulation von natürlichen Bränden wurde von der Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit (AGB) das Mehrraum-Mehrzonen-Modell MRFC weiterentwickelt, so daß die das Brandgeschehen beschreibenden Größen (Temperatur, Brandrauchmenge, Brandrauchschichtdicken, usw.) in komplexen Gebäuden berechnet werden können.*

*Dem Programmpaket MRFC (**M**ulti-**R**oom-**F**ire-**C**ode) liegt ein Mehrraum-Mehrzonen-Modell zu Grunde, bei dem über eine Kopplung von beliebig zugeordneten Räumen mit jeweils mehreren Zonen, die das Brandgeschehen bestimmenden Parameter wie Gas- und Bauteiltemperaturen sowie Druckverteilungen und die daraus resultierenden Massenströme berechnet werden können. Beim Zwei - Zonen - Modell bestehen die beiden betrachteten Schichten im Raum aus Luft und Rauchgasen, für die jeweils eine homogene Temperaturverteilung angenommen wird. Die Massen- und Energieströme werden für den Brandbereich (Fireplume) sowie getrennt für beide Schichten im Raum formuliert und im Programm iterativ berechnet.*

*Auf der Abbildung 3.2 ist ein Element des Modells mit unterschiedlichen Annahmen für den betreffenden Raum dargestellt. Dabei ist der Raum im Aufriss aus einer betrachteten Mehrraumgeometrie herausgeschnitten. Je nach Brandverlauf sind für die Berechnungen unterschiedliche Annahmen für den Gaskörper zu treffen. Dieser ist bei einem vorhandenen, beziehungsweise in der Ausbildung begriffenen Brand in zwei Gaskörper (Fälle 2 und 3) aufgeteilt. Sonst wird für jeden Raum eine einzige Schicht mit homogener Temperaturverteilung berücksichtigt (Fälle 1 und 4). Der eigentliche Flammenbereich wird gesondert behandelt (nur im Brandraum).*

*Je nach Ventilationsverhältnissen und Brandverlauf können in den einzelnen Räumen somit eine, zwei oder drei Zonen vorliegen, womit das Brandgeschehen abgebildet wird. Im Modell werden folgende Fälle unterschieden (vergl. Abbildung 3.2):*

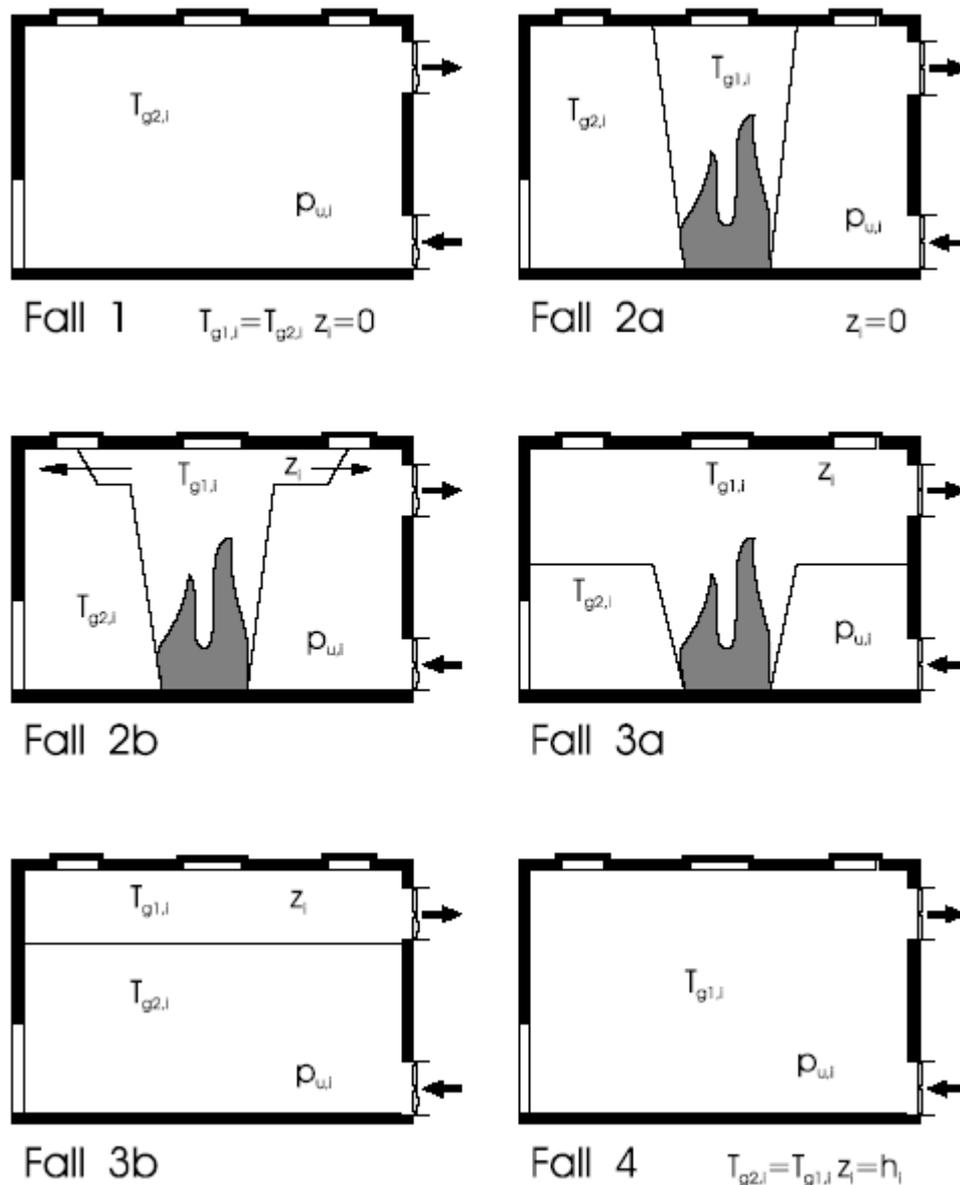


Abbildung 3.2 Typische Raumelemente bei einer Mehrraumbetrachtung in MRFC mit unterschiedlicher Aufteilung des Brandrauches bzw. der Rauchtemperaturen je nach Brandverlauf

**Fall 1:** Der Raum besteht aus einer einzigen kalten Schicht, die noch nicht ver Raucht ist. Das ist der Ausgangszustand für alle Räume. Er gilt solange, bis ein Zustrom von Brandrauch aus bereits ver Rauchten Räumen stattfindet oder in dem Raum ein Brand ausbricht.

**Fall 2a:** Zum Brandbeginn bildet sich im Brandraum zuerst der Plume aus. Der Raum besteht dabei solange aus einem 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.

**Fall 2b:** Ausgehend von Fall 2a breitet sich daran anschließend der Brandrauch in Form eines sogenannten Ceiling Jet aus. Dabei bildet sich eine Brandrauchfront mit

variabler Schichthöhe, die mit der Zeit den gesamten Deckenbereich der Halle ausfüllt. Dabei werden für den oberen Teil des Plumes und dem Ceiling Jet die gleichen homogenen Temperaturen angenommen.

Fall 3a: Der Brandraum besteht aus einem heißem Plume und einer Brandrauchschicht, mit einer homogenen Mischtemperatur, sowie einer sich langsam erwärmenden unteren Schicht mit ebenfalls homogenen Temperaturen.

Fall 3b: Bei diesem Raum fehlt der durch den Brand bedingte Plume. Durch Zu-  
strom von Brandrauch aus bereits verrauchten Räumen hat sich ebenfalls eine Brandrauchschicht der Höhe  $z$  gebildet.

Fall 4: Der Raum besteht nur aus einer verrauchten heißen Schicht. Dies trifft dann zu, wenn die Brandfläche die gesamte Grundfläche der Halle bedeckt oder sich die Brandrauchschicht über die gesamte Hallenhöhe erstreckt.

Als unbekannte Größen gehen im Rechenmodell in den dargestellten Fällen 2 und 3 für jeden Raum  $i$  in die Berechnung folgende physikalische Größen ein:

- Gastemperatur der heißen Zone  $T_{g1,i}$
- Gastemperatur der warmen Zone  $T_{g2,i}$
- Höhe der Brandrauchschicht  $z_i$
- Druck am Fußboden  $p_{u,i}$

Mit diesen Unbekannten lassen sich alle Energie- und Massenströme bestimmen. Für die Berechnung der Decken-, Fußboden- und Wandtemperaturen muss raumweise zusätzlich für jedes Bauteil die Fourier-Gleichung gelöst werden.

Die Kopplung zwischen den einzelnen Räumen erfolgt dadurch, daß die Abflüsse aus den angekoppelten Räumen als Zuflüsse der vorgeschalteten Räume wieder in die Bilanz eingehen. Die Verbindung zwischen den Brandrauchschichten und den kalten Schichten wird über Einmischströme und somit über die Bilanz des Plumes 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.

Räume im Sinne des Rechenprogramms können sein:

- Brandabschnitte,
- einzelne baulich ausgebildete Räume,
- Hallenbereiche oder Räume die durch
  - Einbauten,
  - Teilabtrennungen,

in miteinander verbundene Raumbereiche unterteilbar sind.

### 3.3.1.2 Massenbilanzen und Massenströme

Unter der Voraussetzung, daß in dem betrachteten Raumbereich zwei Schichten und der Brandherd vorliegen, ergeben sich die folgenden Gleichungssysteme.

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

- für die Brandrauchschicht

$$dm_{1,i} / dt + \sum \dot{m}_{s,ij} - \sum \dot{m}_{s,ji} - \dot{m}_{e1,i} + \dot{m}_{e2,i} - \dot{R}_i = 0$$

- für die untere Gasschicht

$$dm_{2,i} / dt + \sum \dot{m}_{a,ij} - \sum \dot{m}_{a,ji} - \dot{m}_{e1,i} + \dot{m}_{e2,i} = 0$$

Der Bereich der Flamme wird im Programm gesondert behandelt, das Volumen des Feuerplumes wird der oberen Brandrauchschicht zugerechnet.

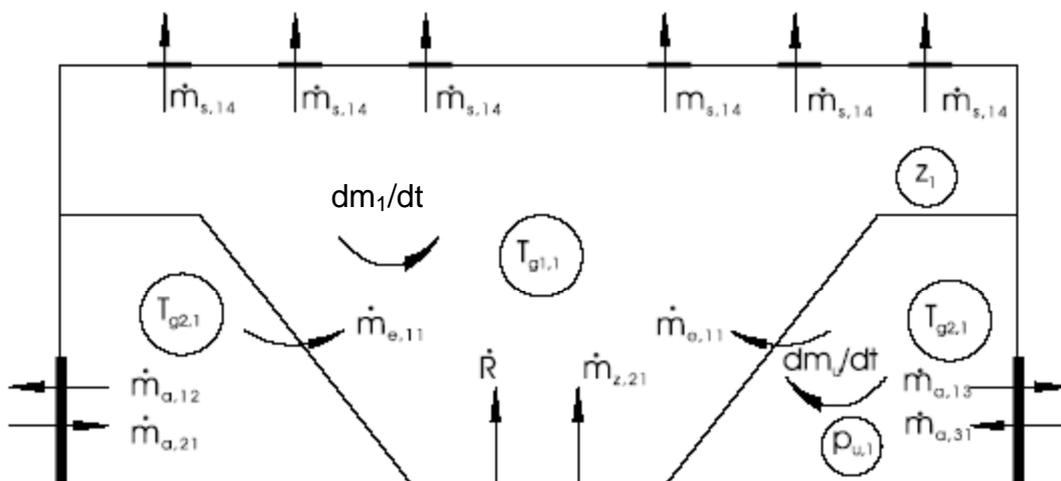


Abbildung 3.3 Massenbilanzen und Massenströme für Brandraum im Modell MRFC

Für den Brandraum sind in Abbildung 3.3 die Massenströme exemplarisch dargestellt, die in die Berechnungen eingehen. Massenströme zwischen den einzelnen Räumen und der Umgebung können im Programm zur Zeit in folgender Form berücksichtigt werden:

- Massenströme durch vertikale Öffnungen
- Massenströme durch horizontale Öffnungen
- Massenströme durch Schächte, Kanäle
- Zwangsmassenströme (Zu- und Abluft)
- geregelter Zwangsmassenstrom in Abhängigkeit von der stöchiometrischen Verbrennung.

### 3.3.1.3 Abbrandmodelle

*Einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Brandsimulation hat die Bestimmung der pro Zeiteinheit in Wärmeenergie umgesetzten Menge an Brandgut. Dabei ist festzustellen, ob genügend Sauerstoff für eine vollständige Verbrennung des Brandgutes zur Verfügung steht.*

*Wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist, findet i.w. eine stöchiometrische Verbrennung statt und der Brandablauf ist brandlastgesteuert. Bei Sauerstoffmangel findet dagegen ein ventilationsgesteuerter Brand statt. Dies führt zu einer unvollständigen Verbrennung, bei der u.a. größere Mengen von CO und gasförmige, unverbrannte Kohlenstoffverbindungen in die Rauchgase gelangen. Ebenso fallen je nach Art des Brandgutes Ruß und Asche an. Im Programm MRFC 2.8 wird automatisch kontrolliert welche Brand- bzw. Sauerstoffbedingungen jeweils vorliegen.*

*Für die Bestimmung der Abbrandrate stehen im Programm MRFC 2.8 umfangreiche Abbrandmodelle zur Verfügung.*

### 3.3.1.4 Energiebilanz und Energieströme

Unter der Voraussetzung, daß in dem betrachteten Raum zwei Schichten und ein Brandherd vorliegen, ergeben sich die folgenden Gleichungssysteme. Energiebilanz für die Braundrauschicht des Raumes  $i$ :

$$dh_{1,i} / dt + \dot{h}_{ab1,i} - \dot{h}_{zu1,i} = 0$$

In der Energiebilanz sind folgende Terme enthalten:

- *Energieabflüsse:*

$$\dot{h}_{ab1,i} = \sum \dot{h}_{s,ij} + \sum \dot{h}_{01,ij} + \sum \dot{h}_{wn,i} + \sum \dot{h}_{sv1,i} + \dot{h}_{r,i}$$

- *Energiezuflüsse:*

$$\dot{h}_{zu1,i} = \dot{h}_{c1,1} + \sum \dot{h}_{s,ji} + \sum \dot{h}_{01,ji} + \dot{h}_{sp1,1}$$

Für die untenliegende Luftschicht lautet die Energiebilanz:

$$dh_{2,i} / dt + \dot{h}_{ab2,i} - \dot{h}_{zu2,i} = 0$$

#### Energiebilanz und Energieströme

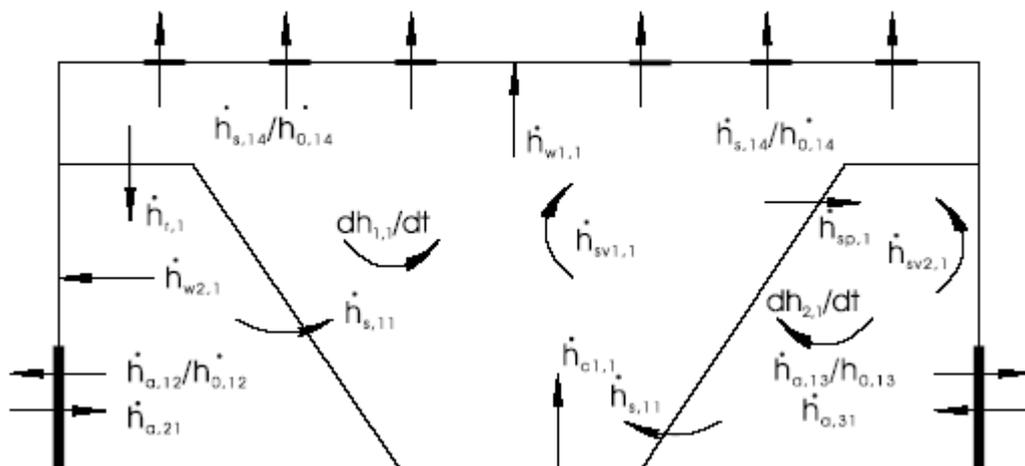


Abbildung 3.4 Energiebilanzen und Energieströme für Brandraum im Modell MRFC

Für den Brandraum sind in Abbildung 3.4 die Energieströme exemplarisch dargestellt, die in die Berechnungen eingehen. Die Energiefreisetzung d. h. die pro Zeiteinheit freigesetzte Wärmemenge wird über die zur Verfügung stehenden Abbrandmodelle (siehe Abschnitt 3.3.1.3) ermittelt, wobei in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge sowohl ein vollständiger als auch ein unvollständiger Abbrand berücksichtigt wird. Die Energiezufuhr entspricht daher bei vollständiger Verbrennung dem Wärmepotential des Brandgutes und bei unvollständiger Verbrennung dem Wärmepotential der Brandgutmenge, die aufgrund der chemischen Zusammensetzung mit der zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge vollständig verbrannt werden kann.

Neben der Energiefreisetzung werden die Energieströme aus Konvektion und Strahlung

- *der Rauchgase, die durch Öffnungen oder über maschinelle Rauchabzugsanlagen abgeführt werden,*
- *bzw. die innerhalb des Gebäudes von den Rauchgasschichten an die Bauteile*

*abgegeben werden berücksichtigt. In die Energiebilanzen der einzelnen Gasschichten gehen darüber hinaus weitere Energieverluste z. B. an vorhandene Einbauten oder über Brandbekämpfungsmaßnahmen z. B. durch Sprinkleranlagen sowie die Änderung der in den Gasschichten gespeicherten Wärme in die Berechnung ein.*

### 3.3.2 Berechnungsablauf bei MRFC

Eine Berechnung in MRFC benötigt folgende Eingabewerte.

1. Zeitsteuerung

Hier werden die Branddauer, Iterationsschrittweite und die Ausgabeintervalle für Excel festgelegt. Mit Excel wird die Auswertung erfolgen.

2. Thermodynamische Steuerdaten

Es werden Plumeformeln, Parameter für Plumeformeln, Flammentemperatur eingestellt.

3. Anlegen der Wandbauteile in Datenbank

Falls erforderliche Bauteile in Datenbank nicht vorhanden sind, muss deren Anlage manuell erfolgen.

4. Generieren der Räume

Beim Generieren der Räume muss man auf die einzelnen Größen und die unterschiedlichen Möglichkeiten achten. Die Raumgeometrie ist maßgeblich für die Genauigkeit der unterschiedlichen Ergebnisse verantwortlich. Zum Beispiel werden große Räume in mehrere kleine Räume offen „aufgeteilt“, um die Rauchgasverteilung exakter berechnen zu können.

5. Öffnungen festlegen

Sowohl die Zuluftöffnungen als auch die Abluftöffnungen müssen eingegeben werden. Das Programm ermöglicht eine Vielzahl unterschiedlicher Öffnungen (vertikal, horizontal, Zwangsluft, RWA), aber auch die Öffnungsbedingungen, das heißt, wann welche Öffnung um wie viel Prozent geöffnet ist.

6. Brandszenarien auswählen oder ggf. erstellen

In der Praxis, wenn Parameterstudien gerechnet werden sollen, muss das Brandszenarium entweder vorgeschrieben oder nach ingenieurmäßigem Fachwissen erstellt werden. Dabei spielen die Abbrandrate, die Energiefreisetzung und die Brennstoffzusammensetzung eine wesentliche Rolle.

7. Datensatz erstellen

Die Erstellung des „Datensatzes“ bezieht sich auf die vom Programm ausgegebenen Werte. Es gibt einen Datensatz für eine Standardauswertung mit den wichtigsten Rechenwerten. Wenn komplizierte oder objektbezogene Werte erwünscht werden, müssen zusätzliche „Messstellen“ erzeugt werden. Nur wenn dies der Fall ist, kann später eine Auswertung erfolgen.

8. Simulation und Postprozessor

Der angenehme Teil bei MRFC. Treten hier keine Fehlermeldungen bzw. Abbruch der Berechnung auf, berechnet das Programm alles. Wenn aber z.B. ein

Fehler dazu führt, daß das Programm nicht zu Ende rechnet, benötigt man oft eine lange Zeit bis man den Fehler für den Abbruch gefunden und beseitigt hat.

#### 9. Auswerten der Ergebnisse

Das Auswerten der Ergebnisse wird mit Hilfe von Excel erstellt. Ein erstelltes Makro, übernimmt die Standardauswertung. Wenn Zusatzmessstellen berechnet wurden, müssen diese selbst erstellt werden, um eine Auswertung vornehmen zu können. Der Vergleich mit der DIN 18 232 bezieht sich auf die Schichthöhe der raucharmen Schicht (MRFC: `_rfd` genannt).

Hier nun einige Auswertungspunkte bei der Standardauswertung:

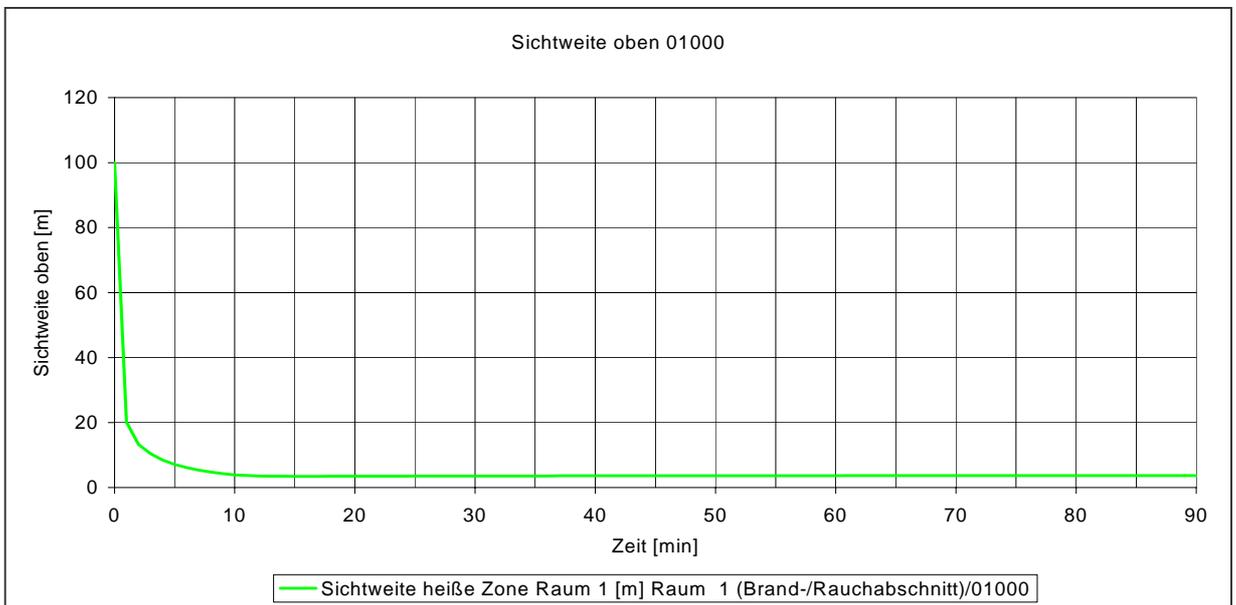
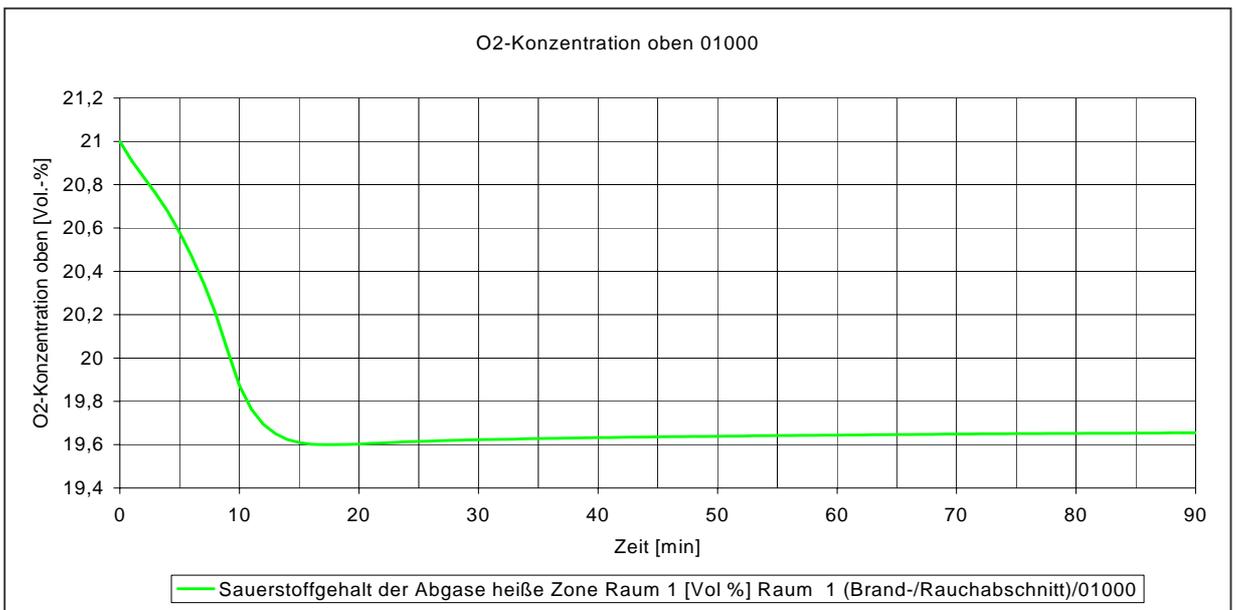
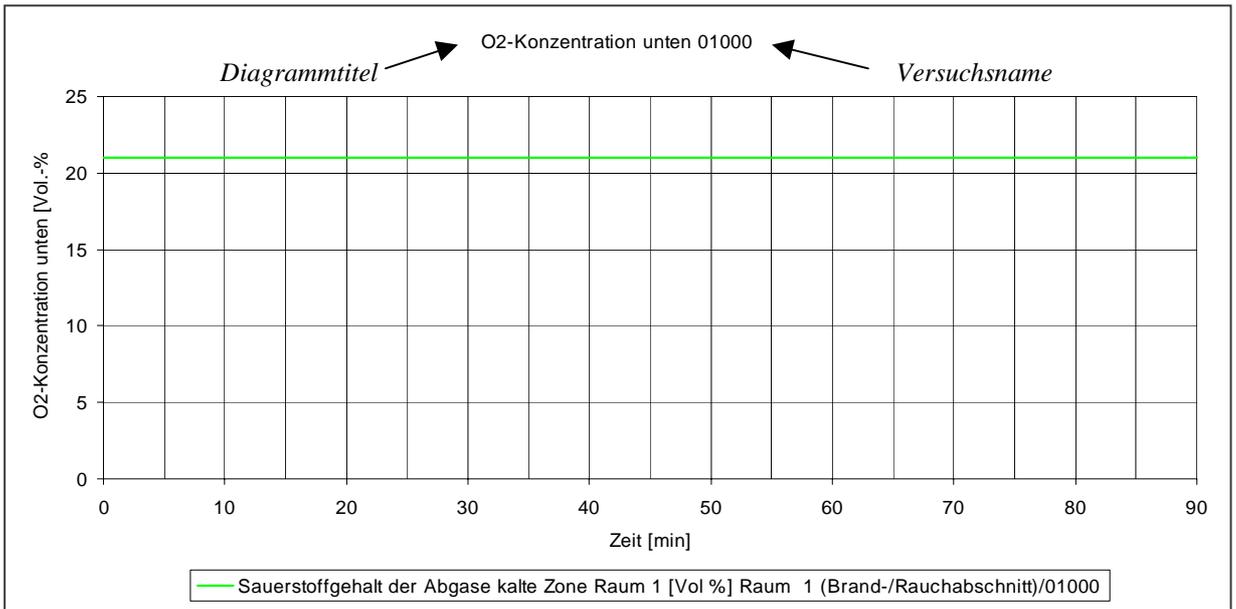
- O<sub>2</sub> unten, oben
- CO unten, oben
- Sicht oben, unten
- Optische Dichte unten, oben
- CO<sub>2</sub> unten, oben
- Schichtgrenze
- Temperatur unten, oben
- Flammenhöhe
- Abbrandrate
- Energiefreisetzung
- Brandfläche

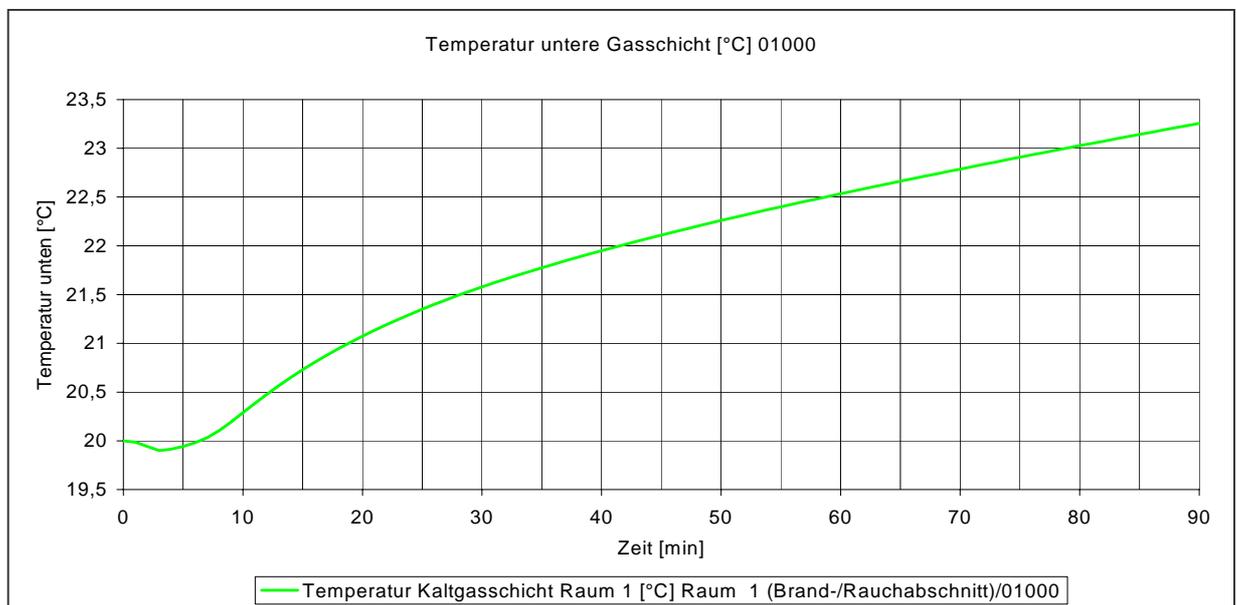
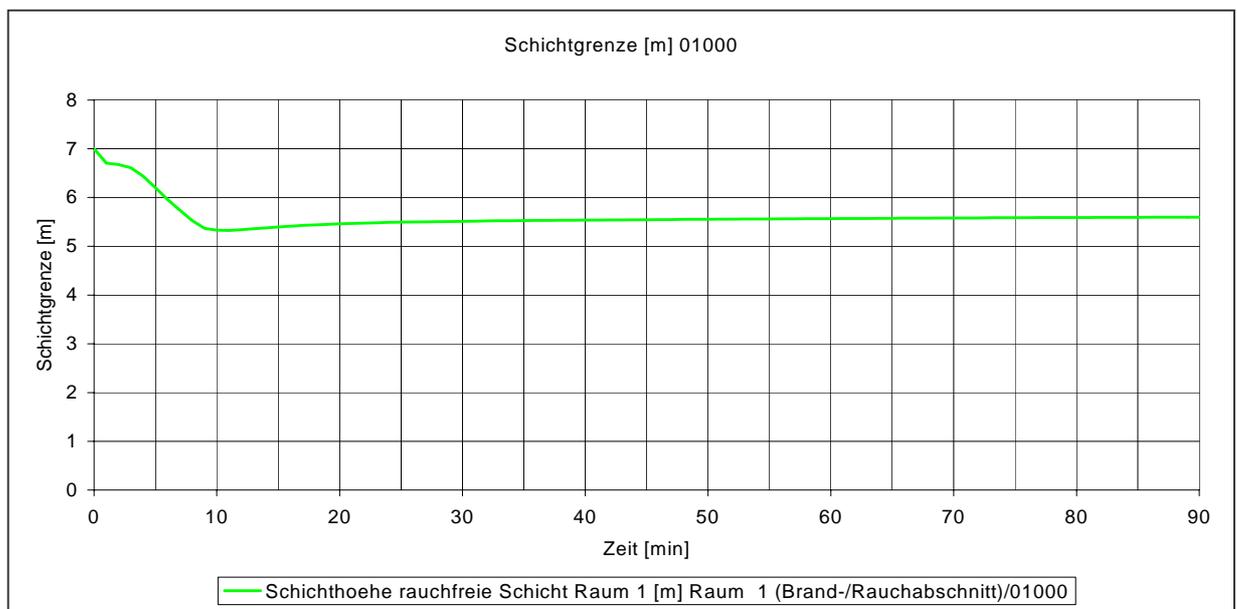
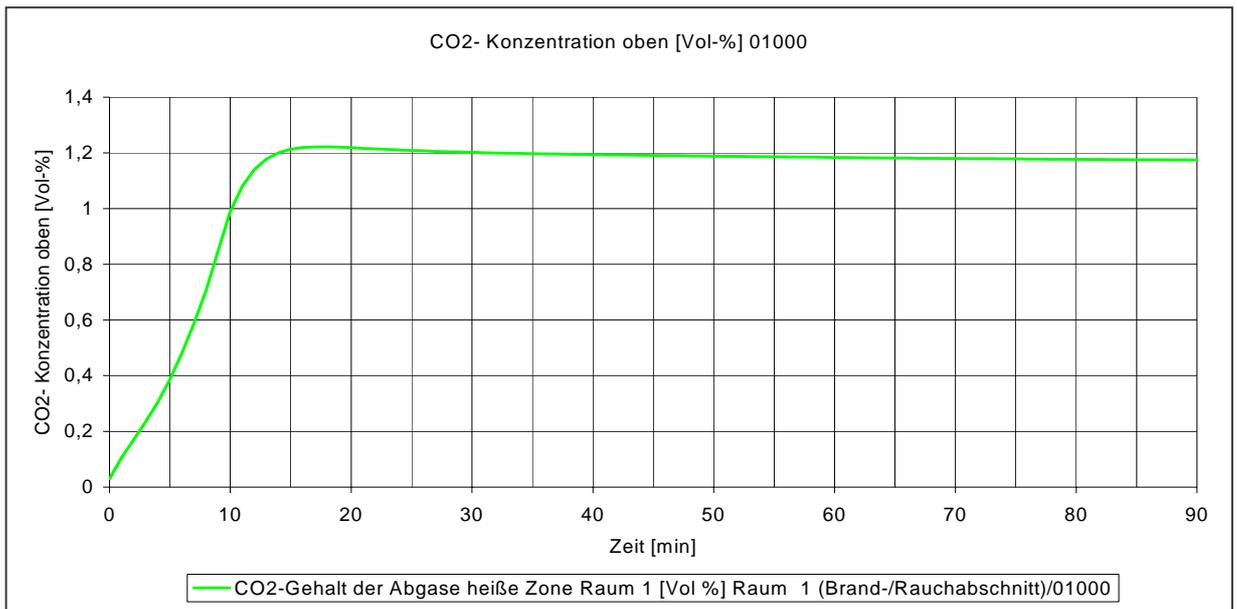
Die Angaben „oben“ bzw. „unten“ beziehen sich auf die untere Schicht (kalte Zone, raucharme Schicht) bzw. auf die obere Schicht (heiße Zone, Brandgasschicht).

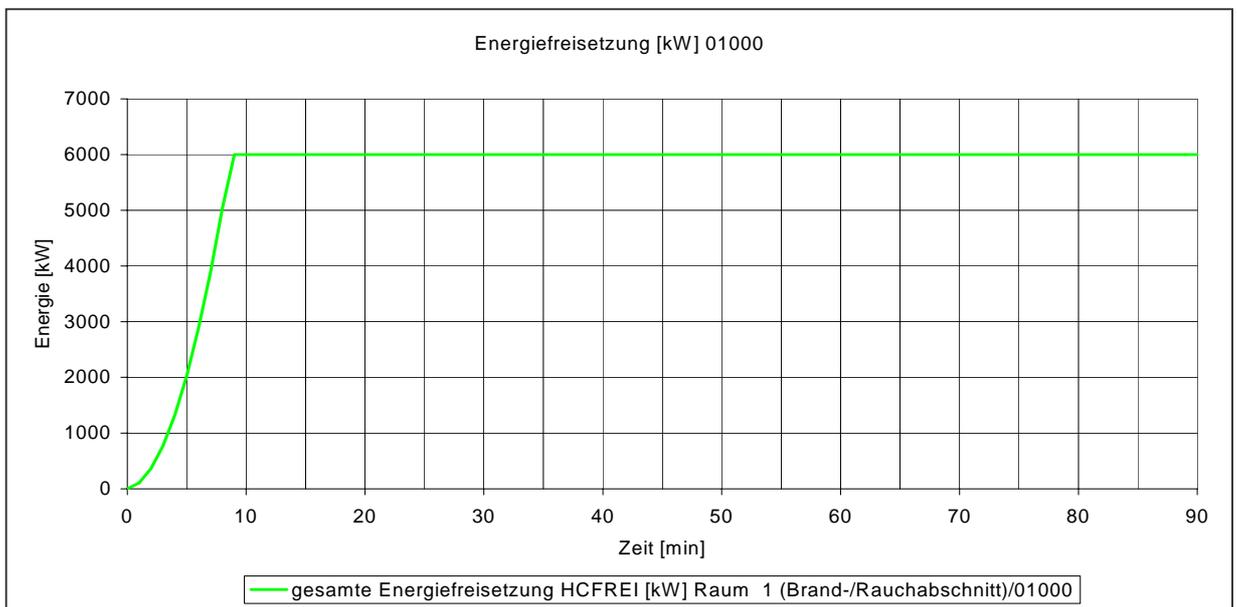
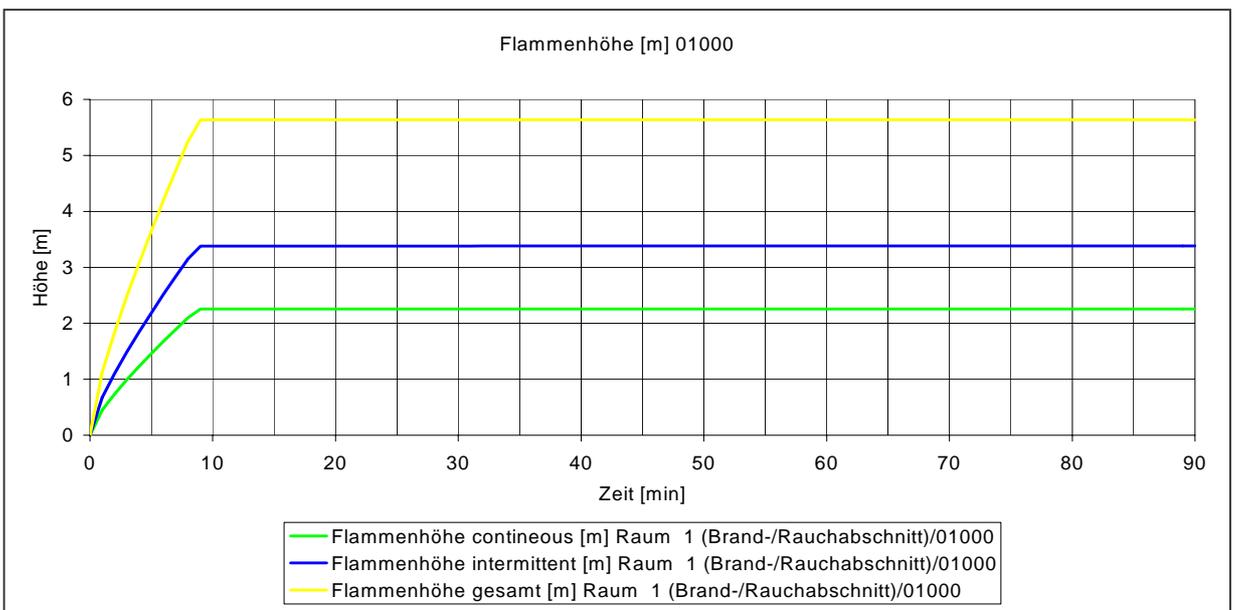
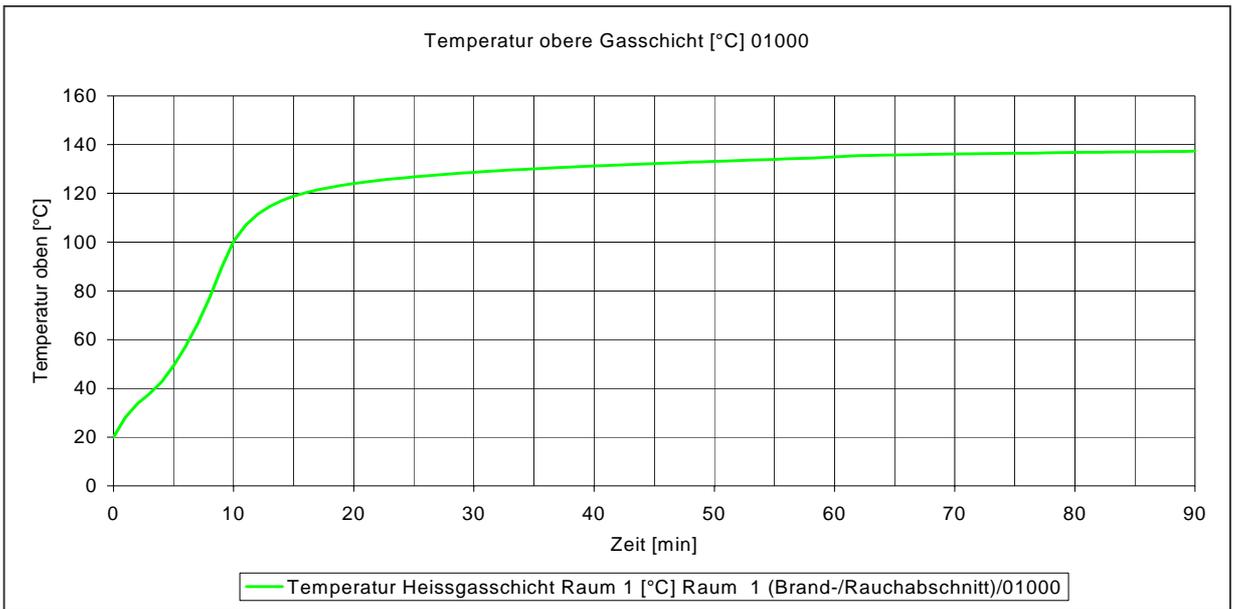
Nachfolgend einige Diagramme zum Überblick aus der Versuchsvariante 01000. Das heißt es handelt sich hier um ein 1-Raum-Geometrie. Die Halle hat folgende Abmessungen: 80 m Länge, 40 m Breite und 7 m Höhe. Nach DIN 18 232-2 wird ein Brand der Bemessungsgruppe 3 mit mittlerer Brandausbreitungsgeschwindigkeit angesetzt. Dies entspricht einer Brandleistung von 6 MW und einem Branddurchmesser von 5 m im Raummitte.

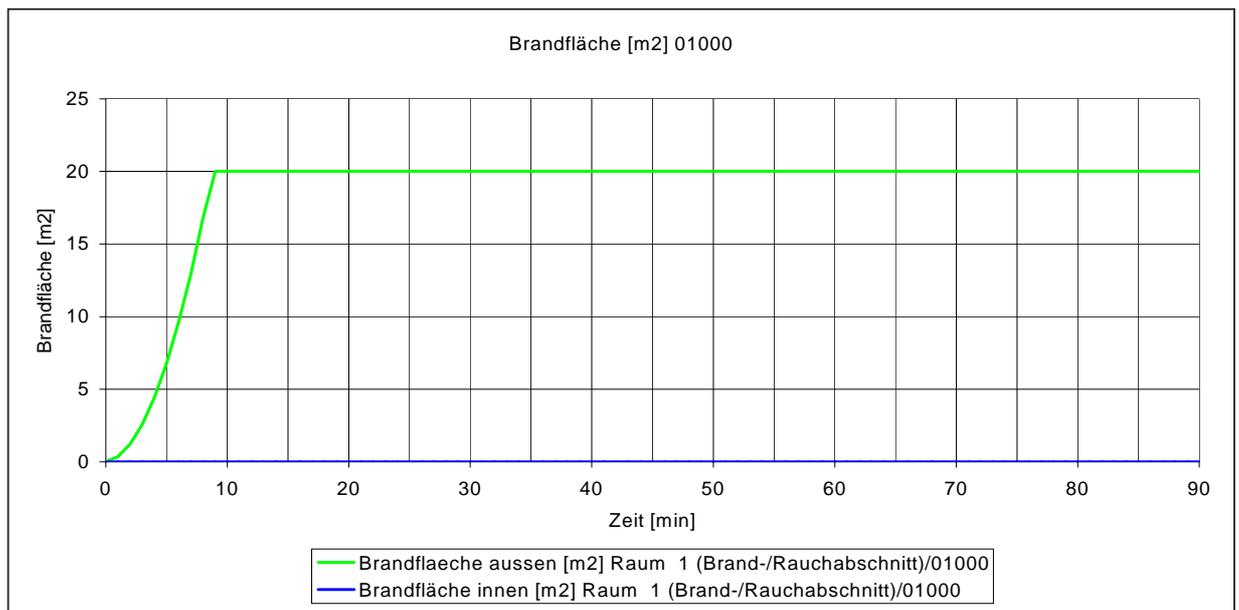
Dabei ist die horizontale Achse immer die Zeitachse und bei der senkrechten werden die jeweilige Ausgabewerte abgelesen.

Die weiteren Versuchsvarianten des Vergleichs werden in Kapitel 4.4.1 „Variationen bei den Berechnungen“ ab Seite 54 dargestellt.









Die Diagramme sollen einen kleinen Überblick verschaffen, wie die Ergebnisse visualisiert und eine Auswertung mit MRFC erfolgen kann.

## 4 Vergleich von normativen Verfahren und Ingenieurmethoden an einem Objektbeispiel

### 4.1 Ausgangswerte Versuchshalle

Die Ausgangswerte für den Vergleich müssen bei beiden Verfahren gleich sein. Um dies sicher zu stellen, hier nun eine kurze Aufstellung der gewählten Abmessungen, Öffnungen und Öffnungsbedingungen. Das Brandszenarium wird nach DIN 18 232-2 berechnet und in MRFC eingesetzt. Als Zuluftöffnungen für die Industriehalle sind die 3 Tore ausreichend, Türen und Fenster können daher bei der Berechnung mit MRFC vernachlässigt werden. DIN 18 232-2 wurde mit Plumeformeln entwickelt. Es ist daher interessant, was im Vergleich hierzu die Berechnungen mit MRFC ergeben.



Abbildung 4.1 Versuchshalle 3D (aus MRFC)

#### Abmessungen

Länge: 80 m

Breite: 40 m

Höhe: 7 m

Fläche: 3.200 m<sup>2</sup>

Bauteile

Boden: 10 cm Beton

Wände: 10 cm Beton

Decke: Trapezblech mit untenliegender 15 cm Mineralfaserdämmung

Zuluftöffnungen

3 Tore      Öffnungsmaße: 3x3 m

Für NRA-Berechnung nicht relevant → 5 Türen      1x2 m

Für NRA-Berechnung nicht relevant → 2 Fensterbänder, BH = 5m      70x1 m

Die Zuluftöffnungen werden mit  $\geq 1,5 \cdot$  Abluftflächen angesetzt.

Abluftöffnungen

NRA

Erf. Anzahl nach DIN 18 232

Lage NRA: je 200 m<sup>2</sup> Grundfläche muss ein NRA eingebaut werden.

Raucharme Schichtdicke d      gew. 4,0 m      (Torhöhe + 1m)

Infrastruktur

Werkfeuerwehr      Nein, nicht vorhanden.

BMA      Ja, wird angesetzt.

Sprinkleranlage      Nein, nicht vorhanden.

Aus der Infrastruktur und der Brandentwicklungsdauer ergibt sich für die Berechnungen:

Bemessungsgruppe 3, und eine  
mittlere Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

## 4.2 Warum wurde als Grundfläche 3.200 m<sup>2</sup> gewählt?

Für die Fragestellung, warum als Grundfläche gerade 3.200 m<sup>2</sup> in Ansatz gebracht sind, wurden zusätzliche Untersuchungen angestellt. Ziel sollte eine kritische Überprüfung der Genauigkeit der DIN 18 232 werden.

Bei einer Fläche von 3.200 m<sup>2</sup> handelt es sich um einen Grenzfall innerhalb der DIN 18232-2, da mindestens alle 1.600 m<sup>2</sup> eine Unterteilung mit Rauchschürzen erfolgen muss. Bei 3.200 m<sup>2</sup> reicht nach DIN gerade noch 1 Rauchschürze. Nun sollen die Berechnung nach DIN 18 232 mit der MRFC-Berechnung verglichen werden. Bei diesem Grenzfall sollte eigentlich keine Abweichung vorhanden sein, da die DIN und MRFC die selben Plumeformeln verwenden. Würden jedoch Abweichungen auftreten, müssten diese bei Hallenzwischengrößen noch größer sein.

Um die Wahl zu begründen wird ein Vergleich mit der Variablen "Hallengröße" gestartet.

Für die zusätzliche Untersuchung werden zwei mögliche Randbedingungen festgelegt:

1. Die Hallenbreite beträgt konstant 40 m, die Hallenlänge ist variabel. Hier ist die Wegstrecke des Rauches am Längsten. Es besteht somit ein höheres Risiko, dass sich der Rauch auf seinem Weg entlang der Decke abkühlt und vermehrt absinkt.

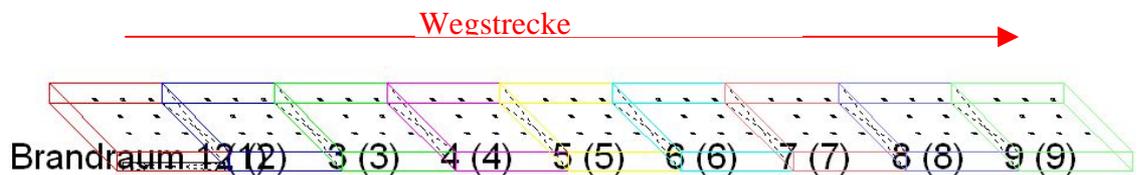


Abbildung 4.2 MRFC-Geometrie Breite konstant, hier mit 14.400 m<sup>2</sup> Grundfläche

2. Die Hallenbreite ist gleich der Hallenlänge, (quadratische Abmessung). Dies stellt den optimalsten Fall für die Wegstrecke des Rauchs dar, da die Westrecke so am kürzesten ist.

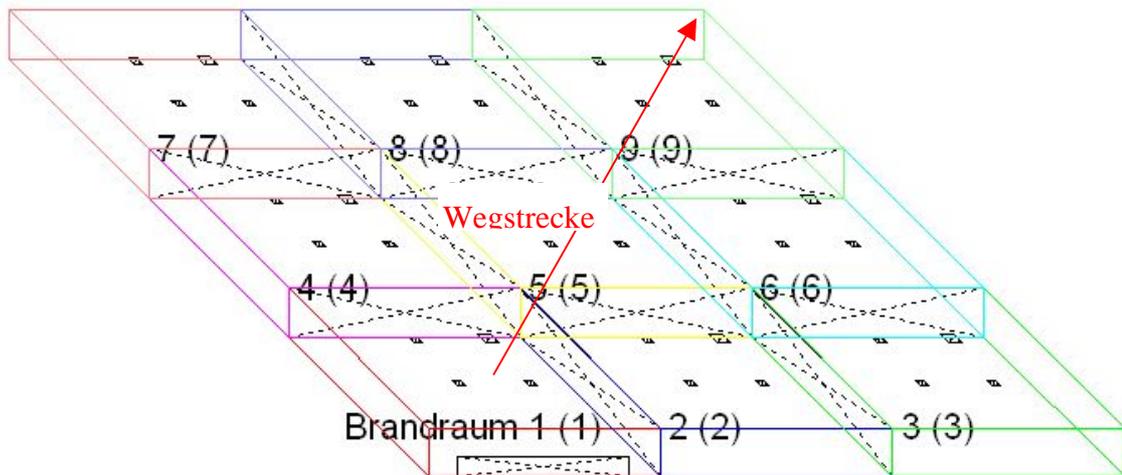


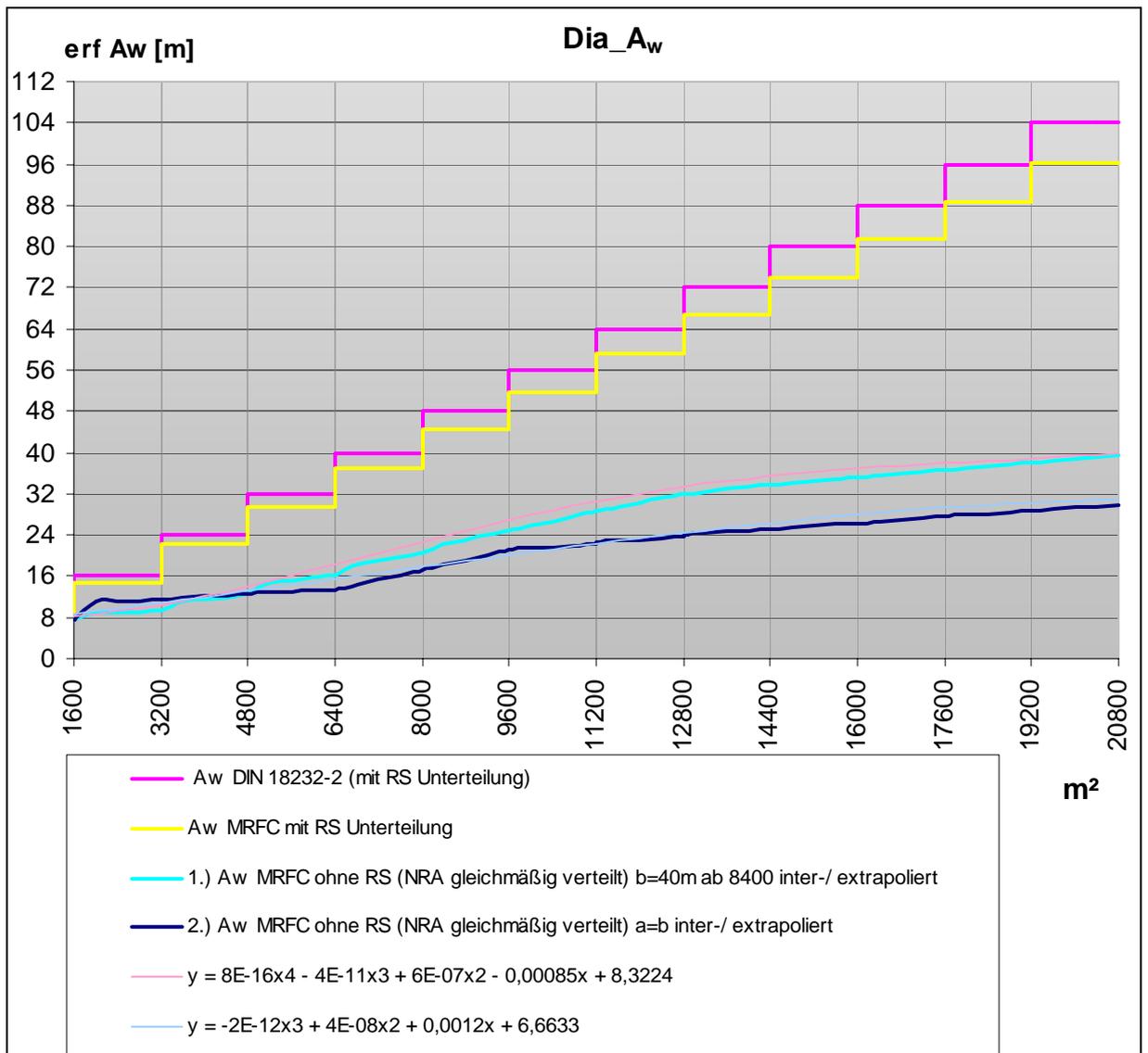
Abbildung 4.3 MRFC-Geometrie quadratisch, hier mit  $9.600 \text{ m}^2$

Mit den zwei Untersuchungen kann die Grenze für die oben gegebenen Randbedingungen untersucht werden.

Mit mehreren berechneten Einzelflächen konnte nachfolgendes Diagramm erstellt werden. Beginnend bei der Grundfläche von  $1.600 \text{ m}^2$ , sind in jeweils  $400 \text{ m}^2$  großen Rastern die Punkte der Diagrammlinien berechnet worden. Ab einer Fläche von  $9.600 \text{ m}^2$  bis einschließlich  $16.000 \text{ m}^2$  wurde dann das Raster auf  $1.600 \text{ m}^2$  erweitert. Die somit entstehenden fehlenden Zwischenwerte wurden interpoliert. Zwischen den Grundflächen  $12.800 \text{ m}^2$  bis  $16.000 \text{ m}^2$  zeichnete sich eine steigende Tendenz ab, welche für eine Extrapolation bis auf  $20.800 \text{ m}^2$  genutzt wurde.

Die Auswertung über die Schichtdicke musste iterativ erfolgen. Zuerst ist die Raumgeometrie erzeugt worden. Die einzelne Räume haben maximale Abmessungen von  $40 \text{ m} * 40 \text{ m}$ . Dies ist wieder auf Grund der Rauchabkühlung notwendig. Dann sind die erforderlichen Zuluftflächen nach DIN 18 232-2 in die Geometrie eingebaut worden. Ebenfalls sind die Abluftöffnungen im Dach nach DIN 18 232-2, gleichmäßig auf die Grundfläche verteilt, eingebaut worden. Die Umberechnung von aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche und geometrische Öffnungsfläche musste beachtet werden. Über den Öffnungsgrad, den sogenannten Öffnungsfaktor, wird dann die aerodynamisch erforderliche Öffnungsfläche berechnet. Wie oben erwähnt, musste um ein Ergebnis zu bekommen, mehreren Berechnungen erfolgen sich an die raucharme Schichtdicke von  $4 \text{ m}$  heranzutasten. Dies geschah über den Öffnungsgrad der Abluftflächen. Zuerst mit  $100\%$ , dann wurde er immer mehr verringert. Sobald  $4 \text{ m}$  erreicht worden, konnte der maßgebende Öffnungsgrad abgelesen und somit die notwendige Fläche mit MRFC (Öffnungsgrad \* DIN-Fläche) berechnet werden.

Die Berechnungen von MRFC ergaben, dass stellenweise sogar nur  $35 \%$  der berechneten aerodynamisch erforderlichen Öffnungsfläche nach DIN 18 232-2 benötigt werden.

Abbildung 4.4 Diagramm  $A_w$ 

Im erstellten Diagramm ist gut die Unterteilung mit Rauchschürzen zu sehen. Während nach DIN 8 m<sup>2</sup> aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche je 1.600 m<sup>2</sup> Hallenfläche erforderlich sind, werden bei MRFC nur 7,4 m<sup>2</sup> benötigt. Diese geringe Differenz summiert sich je mehr Räume mit Rauchschürzen unterteilt werden. Ohne die Unterteilung mit Rauchschürzen, ergaben die Berechnungen, dass selbst bei ungünstigster Raumgeometrie „1.“, die erforderliche aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche mit zunehmender Grundfläche erheblich von der Berechnung nach DIN 18232-2 abweicht. Das heißt, mit zunehmender Grundfläche ist nach DIN ein zunehmender Sicherheitsfaktor enthalten. Die Untersuchung mit „2.“ zeigt, dass die Raumgeometrien untereinander nicht den großen Unterschied ausmachen. Die berechneten Diagrammlinien können

auch mit den im Diagramm dargestellten Funktionen hinreichend genau errechnet werden.

Resümee der Untersuchung:

- Diskussionsbedarf zur DIN 18 232-2 ist gegeben.
- DIN 18 232-2 auf zu sicherer Seite, zu große Differenzen zwischen DIN und MRFC.
- Rauchschürze ist nicht unbedingt erforderlich.
- Zu beachten ist aber, dass ohne Rauchschürze der Rauch in das gesamte Objekt vordringen und eine totale Verrauchung dann die Folge sein kann.

### 4.3 Normative Berechnung der Versuchshalle

Die Versuchshalle, wie in Kapitel 4.1 definiert und beschrieben, ist eine gedachte Industriehalle wie sie in der Praxis vorkommen kann. Bei dem Vergleich werden alle relevanten normativen Berechnungen geführt und dann mit den Rechenergebnissen aus MRFC verglichen. Für diesen Vergleich mit Multi-Room-Fire-Code muss die Berechnung nach DIN 18 232-2 herangezogen werden. Wie vorhin beschrieben berechnet das Programm unter anderem die Temperaturen und die Höhe der raucharmen Schicht. Diese Höhe kann mit dem Programm direkt berechnet werden. Ein Vergleich über die zulässige Größe der Brandbekämpfungsabschnitte ist dagegen nicht direkt möglich, da diese über Versagenswahrscheinlichkeiten gebildet werden.

Damit ein Vergleich der beiden Anwendungsmethoden überhaupt möglich ist muss zunächst das Schutzziel, hier die Höhe der raucharmen Schicht, als Bindeglied zwischen DIN und MRFC definiert werden. Mit MRFC kann eine Verrauchung der gesamten Halle berechnet werden. Um bei dem Vergleich mit korrekten Ergebnissen zu arbeiten, muss aber die Höhe der raucharmen Schicht gleich sein, wie sie nach DIN 18 232-2 notwendig ist. Es soll dann überprüft werden, wie viele NRA-Öffnungen benötigt werden damit eine Dicke der raucharmen Schicht von 4 m eingehalten wird. Auf Grund der Hallenfläche größer 1.600 m<sup>2</sup> fordert die DIN eine Rauchschräge. Deren Erfordernis wird mittels MRFC ebenfalls überprüft.

Definition Rauchschräge:

Eine Rauchschräge unterteilt einen Raum in z. B. zwei Rauchabschnitte. Der Rauch steigt, wegen thermischem Auftrieb, nach oben und möchte sich dann entlang der Decke ausbreiten. Durch die Rauchschräge wird eine Verteilung im gesamten Raum behindert. Die Höhe der Rauchschräge ist sehr wichtig. Wenn sie zu niedrig ist, findet eine Unterströmung der Rauchschräge statt. Es gelangt Rauch in den „raucharmen“ Rauchabschnitt. Ist sie zu hoch, kann dies bei innerbetrieblichen Abläufen, z. B. Transportwege, Transportarbeiten etc., hinderlich sein. Ebenso kann eine zu große Rauchschräge die Gebäudeoptik beeinträchtigen.

#### 4.3.1 Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung $q_R$

Für die Berechnung ist zunächst eine Brandlastermittlung erforderlich. Die Brandbelastung wird nach DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ benötigt, um im genauen Nachweisverfahren nach Abschnitt 7, das  $t_{\text{a}}$  zu berechnen. Die rechnerische Brandbelastung  $q_R$  setzt sich aus der rechnerischen Brandbelastung ungeschützt vorliegender Stoffe ( $q_{R,u}$ ) und aus der rechnerischen Brandbelastung von Stoffen in geschlossenen Systemen ( $q_{R,g}$ ) zusammen.

##### 4.3.1.1 Ungeschützte Brandlasten

Zu berücksichtigen sind alle brennbaren Einrichtungen, Betriebs- und Lagerstoffe, Verpackungen sowie alle brennbaren Baustoffe von Bauteilen einschließlich Bekleidungen

(Baustoffklasse B nach DIN 4102-1;1981-05), soweit im folgenden nichts anderes bestimmt ist. Die sogenannte rechnerische Mindestbrandlast beträgt 15 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.3.1.2 Geschützte Brandlasten in geschlossenen Systemen

Brennbare Stoffe in geschlossenen Systemen aus Stahl oder anderen im Brandverhalten vergleichbaren Werkstoffen gelten als geschützt. Sie sind hinsichtlich ihres Beitrags zum Brandgeschehen nach 6.5 der DIN zu bewerten, siehe auch Anhang D (informativ) DIN 18230-1.

Diese werden nach folgenden Formeln berechnet:

$$q_R = q_{R,u} + q_{R,g} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,u} = \frac{\text{Summe}(M_i * H_{ui} * m_i)}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,g} = \frac{\text{Summe}(M_i * H_{ui} * m_i * \psi_i)}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

Dabei ist:	$M_i$	Masse des einzelnen ungeschützten oder geschützten Stoffes in kg
	$H_{ui}$	Heizwert des einzelnen Stoffes in kWh/kg, DIN 18230-3;2002-08
	$m_i$	Abbrandfaktor des einzelnen brennbaren Stoffes, siehe 6.3 DIN 18230-1, oder DIN 18230-3
	$\psi_i$	Kombinationsbeiwert nach DIN 18230-1 6.5 bzw. 6.6
	$A_B$	Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes

Bei der nun folgenden Zusammenstellung der Brandlasten handelt es sich um aufgenommene Brandlasten einer Industriehalle, in der Getriebe hergestellt werden. Die Brandlastermittlung muss sorgfältig erfolgen, da ein linearer Zusammenhang zu  $t_a$  besteht. Ungenauigkeiten sollten mit einem Sicherheitszuschlag berücksichtigt werden.

Im Anhang ab Seite 130 sind sämtliche Einzelbrandlasten aufgelistet. Nachfolgend die Zusammenstellung und die Berechnung der Brandbelastung bezogen auf die Hallenfläche.

Tabelle 4.1 Zusammenstellung Brandbelastung

Nr.					in %
u	Versuchshalle	$q_{R,u} =$	177.717 kWh	55,5 kWh/m <sup>2</sup>	62,04%
	Verteilt im Gebäude	$q_{R,u} =$	2.900 kWh	0,9 kWh/m <sup>2</sup>	1,01%
g	Versuchshalle	$q_{R,g} =$	105.840 kWh	33,1 kWh/m <sup>2</sup>	36,95%
		$q_R =$	286.457 kWh	89,5 kWh/m <sup>2</sup>	100,0%
	zuzüglich:				
	- Sicherheitszuschlag	20%	57.291 kWh	17,90 kWh/m <sup>2</sup>	Länge: 80 m
	- Installation		16.000 kWh	5,00 kWh/m <sup>2</sup>	Breite: 40 m
	- Dachdämmung		3.200 kWh	1,00 kWh/m <sup>2</sup>	Fläche = 3.200 m <sup>2</sup>
	<b>Summe =</b>	<b>362.948 kWh</b>		<b>113,42 kWh/m<sup>2</sup></b>	

### 4.3.2 Berechnung nach DIN 18 230-1

Nach der Brandlastermittlung kann mit der Berechnung nach DIN 18 230-1 begonnen werden. Die gesamte Berechnung ist wiederum im Anhang ab Seite 132 aufgelistet. Nachfolgend eine auszugsweise Darstellung der wichtigsten Teile.

Tabelle 4.2 Horizontale Öffnungsflächen

Nr.	Stk	Rohbaumaße		A (roh) [m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	Typ	Text	Art des Öffnungsverschlusses
		Länge [m]	Breite [m]					
1	16	1,2	1,2	23,04	20,736	3	RWA	Selbsttätig öffnende Abschlüsse (RWA)
2				0	0			

Tabelle 4.3 Vertikale Öffnungsflächen

Nr.	Stk	Rohbaumaße		A (roh) [m <sup>2</sup> ]	Br.Höhe [m]	max Bh [m]	Typ	Text	Art des Öffnungsverschlusses
		Breite [m]	Höhe [m]						
1	3	3	3	27	0	0,00	2	Tore	von außen zu öffnen
2	5	1	2	10	0	0,00	2	Türen	von außen zu öffnen
3	2	70	1	140	5	5,00	7	Fensterbänder	Zweischeiben-Isolierglas
4				0		0,00			

Tabelle 4.4 maßgebende äquivalente Branddauer

$t_{a,i} =$	38,6 min	$t_{a} =$	47,3 min	$t_{a} =$	45,3 min	$t_{a} =$	38,6 min
Soll:		$t_{a} <$	15 min	$15 \leq t_{a} \leq$	30	$t_{a} >$	30 min
Beurteilung:		nein		nein		ja	
		47,3		45,3		38,6	
$t_{a}$ maßgebend =		<b>38,6 min</b>		<b>mit w maßgebend =</b>	<b>1,71</b>		

Mit der berechneten maßgebenden äquivalenten Branddauer kann die erforderliche Feuerwiderstandsdauer für  $(SK_b3)^9$  berechnet werden.

Tabelle 4.5 erforderliche Feuerwiderstandsdauer

$$\text{erf } t_F = t_a \cdot \gamma \cdot \alpha_L \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} t_a = 38,6 \text{ min} \\ \gamma = 1,014 \\ \alpha_L = 0,90 \end{array}$$

$$\text{erf } t_F = 35,2 \text{ min}$$

Mit dieser rechnerisch ermittelten erforderlichen Feuerwiderstandsdauer erf  $t_F$ , für die Brandsicherheitsklasse  $SK_b3$ , kann aus der Tabelle 2 nach Industriebau richtlinie die Brandschutzklasse BK III für den Brandbekämpfungsabschnitt abgelesen werden.

Tabelle 4.6 Brandschutzklassen nach IndBauRL

erf $t_F$ für $SK_b3$ [min]	Brandschutzklasse BK
$\leq 15$	I
$> 15$ bis $\leq 30$	II
$> 30$ bis $\leq 60$	III
$> 60$ bis $\leq 90$	IV
$> 90$	V

<sup>9</sup>  $SK_b3$  = Brandsicherheitsklasse 3; hohe Anforderungen, z. B. an Wände und Decken, die den Brandbekämpfungsabschnitt trennen.



Mit den genannten Faktoren F 1 bis F 5 wird eine zul  $A_{G,BBA}$  von 11.574 m<sup>2</sup> berechnet. Die nach Abschnitt 7 berechnete zulässige Fläche ist somit deutlich größer als die mit dem Näherungsverfahren nach Abschnitt 6 berechnete Fläche. Aus Tabelle 8 der erforderlichen Feuerwiderstandsklassen der Bauteile kann folgendes abgelesen werden.

**Die Abtrennung der Brandbekämpfungsabschnitte muss nach Spalte 2 in den Feuerwiderstandsklassen**

**F 60-A 1)  
T 60  
R 60, S 60  
K 60, L 60, I 60**

**und aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgeführt werden.**

**Die tragenden Bauteile** sind entsprechend der Tabelle 8 Spalte 3

in **F 60 - AB 2) 3)** auszuführen.

Die **Bauteile in der Brandsicherheitsklasse SK<sub>b</sub>2 und SK<sub>b</sub>1** sind ebenfalls entsprechend Tabelle 8 Spalte 4 in den Feuerwiderstandsklassen

**F 60 - B  
T 60  
R 60, S 60  
K 60, L 60, I 60** auszuführen.

*Abbildung 4.5 Zusammenstellung aus Tabelle 8*

**Erdgeschossige Industriebauten** sind nach Tabelle 9, sofern es sich nicht bereits aus den Regelungen nach Abschnitt 7.5.1 ergibt, ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile zulässig, wenn die Flächen des Brandbekämpfungsabschnitts nicht größer, die Wärmeabzugsflächen im Dach (in von 100 bezogen auf die Fläche des Brandbekämpfungsabschnitts) nicht kleiner und die Breite des Industriebaus nicht größer sind als die Werte der Tabelle 9 und bei der Berechnung nach DIN 18230-1 eine äquivalente Branddauer von weniger als 90 min berechnet wird. Dies gilt nicht für Bauteile zur Trennung von Brandbekämpfungsabschnitten. Aus Tabelle 9 kann eine maximale Fläche von **6.859,6 m<sup>2</sup>** berechnet werden.

Im vorliegenden Fall sind die Randbedingungen der Tabelle 9 eingehalten und somit eine Festlegung der Bauteile ohne Anforderungen an den Brandschutz möglich.

Während nach Abschnitt 6 eine Bauweise in F 30 notwendig wäre, ist also nach der genauen Berechnungsmethode eine Bauweise in F 0 zulässig.

Die ausführliche Berechnung ist im Anhang ab Seite 137 aufgeführt.

#### 4.3.4 Berechnung nach DIN 18232-2

Die Bemessung der NRA nach dieser Norm setzt voraus, dass die Raumflächen entweder nicht größer als  $1.600 \text{ m}^2$  sind oder durch Rauchschürzen in maximal  $1.600 \text{ m}^2$  große Rauchabschnittsflächen  $A_R$  unterteilt werden. Der maximale Abstand zwischen den Rauchschürzen bzw. zwischen Wand und Rauchschürzen darf  $60 \text{ m}$  nicht überschreiten. Ausreichende Zuluftflächen  $A_{zu}$  im unteren Teil der Außenwand sind als bodennahe Nachströmflächen immer erforderlich. Die notwendige Zuluftfläche ist nach der größten Rauchabschnittsfläche festzulegen. Diese errechnete Fläche ist den Außenwänden des Raumes einzuplanen. Die Zuluftöffnungen müssen unverzüglich (z.B. automatisch, durch Werkfeuerwehr, durch betriebliche oder organisatorische Vorkehrungen) nach Auslösen der NRA geöffnet werden können. Die wirksame Fläche der Zuluftöffnungen muss mindestens das 1,5-fache der nach Tabelle 3 erforderlichen aerodynamisch wirksamen Öffnungsflächen aller NRA-Öffnungen der größten Rauchabschnittsfläche des Raumes betragen. Der Faktor 1,5 wird auch in MRFC vorausgesetzt. Die Brandentwicklungsdauer beträgt mit einer BMA und mittleren Verhältnissen  $10 \text{ min}$ . Mit einer mittleren Brandausbreitungsgeschwindigkeit wird die Bemessungsgruppe 3 maßgebend.

Tabelle 4.8 Auszug aus Tabelle 3 notwendige Abzugsfläche  $A_w$

Raumhöhe <sup>a</sup>	Höhe der Rauchschicht	Höhe der raucharmen Schicht <sup>a</sup>	Bemessungsgruppe				
			1	2	3	4	5
$h$ in m	$z$ in m	$d$ in m					
7,0	3,0	4,0	4,1	6,0	8,0	10,2	13,5

Die gesamte notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche  $A_w$  der NRA für jede Rauchabschnittsfläche  $A_R$  beträgt somit  **$8 \text{ m}^2$** .

Die Zuluftöffnungen wurden mit  $12 \text{ m}^2$  berechnet.

Die Möglichkeit einer Erleichterung nach „A)“ oder „B)“ ist nicht gegeben.

Hinweis:

Weitere Einzelheiten können im Anhang ab Seite 142 nachgelesen werden. Sämtliche Berechnungen sind im Anhang enthalten.

### 4.3.5 Bewertung der Ergebnisse

Sämtliche Berechnungen haben gezeigt, daß die Versuchshalle mit ihrer vorhandenen Fläche von 3.200 m<sup>2</sup>, im Sinne der Industriebaurichtlinie als ein BBA zulässig ist. Bei Berechnung nach Abschnitt 7, mit vorhandener Brandlast, wäre eine Bauweise in F 60 erforderlich.

Unter Einhaltung der Kriterien nach Tabelle 9 der IndBauRL, gilt nur für erdgeschossige Bauten, wäre es sogar zulässig, die Halle in F 0-Bauweise zu errichten.

Dies zeigt auf, dass das Tragwerk bei hoher Brandbeanspruchung und einer Ausführung ohne entsprechende Anforderungen an den Brandschutz, mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit einstürzen würde und keine ausreichende Zeitreserven für Rettungs- und Löschmaßnahmen im Inneren des Objektes vorhanden wären. Die Entscheidung über die Bauausführung (F 0, F 30, F 60) obliegt nunmehr dem Bauherrn. Bei dessen Kosten-Nutzen-Analyse können eventuell auch versicherungstechnische Fragen (Prämie etc.) eine Rolle spielen. Jedenfalls kann die Baurechtsbehörde die Art des Nachweises, entweder nach Abschnitt 6 oder Abschnitt 7 mit eventueller Beurteilung nach Tabelle 9, nicht vorschreiben. Beide Nachweismethoden sind für sich baurechtlich zulässig. Wenn entsprechend höhere Investitionskosten beim Errichten der Industriehalle nicht im Vordergrund stehen, wäre eine Bauweise in F 60 auf Grund der vorhandenen Brandbelastung empfehlenswert.

Für die weitere Berechnung nach DIN 18 232-2 wurden Türen und Fensterbänder als Zuluftöffnungen vernachlässigt, zum einen da der Vergleich mit dem Brandsimulationsprogramm MRFC stattfinden soll und zum anderen sich bereits die 3 Toröffnungen als ausreichend große Zuluftöffnungen bestätigt haben. Nach DIN-Berechnung ergeben sich 2 Rauchabschnittsflächen ( $A_R$ ) zu je 1.600 m<sup>2</sup>. Jede dieser  $A_R$  benötigt eine aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche von 8 m<sup>2</sup>, demzufolge insgesamt 16 m<sup>2</sup>. Desweiteren ist die Installation einer Rauchschräge mit einer Höhe von 3,5 m erforderlich. Dies kann hinderlich sein, z. B. wenn eine Kranbahn vorhanden ist.

Eine Erleichterung der DIN 18 232-2 kann nicht herangezogen werden.

Aus IndBauRL *Abschnitt 4 Verfahren* steht, daß Anstelle der Verfahren nach Abschnitt 6 und 7 auch Methoden des Brandschutzingenieurwesens eingesetzt werden können, um den Zielen nach Abschnitt 1 (§ 3 Abs. 3 Satz 3 MBO oder § 3 Abs. 1 Satz 1 LBO) zu erfüllen. Solche Nachweise sind nach Anhang 1 der IndBauRL aufzustellen.

Ein direkter Vergleich zwischen DIN, IndBauRL und MRFC ist nicht ohne weiteres möglich. DIN 18230 und IndBauRL berechnen die zulässige Größe von Brandbekämpfungsabschnitten und den erforderlichen Feuerwiderstand von Bauteilen. Die DIN 18 232-2 berechnet die aerodynamisch erforderlich wirksame Öffnungsfläche der NRA's. Nur dieser Parameter kann direkt mit dem Brandsimulationsprogramm verglichen werden. Da die DIN 18 232-2 mit Hilfe des Programms MRFC und deren Plumeformeln erstellt wurde, ist die vergleichende Berechnung der raucharmen Schichten und NRA-Flächen mittels MRFC bzw. der DIN von großem Interesse.

#### 4.4 Brandsimulationsberechnung Versuchshalle

Nach Abschluss der normativen Berechnungen, folgt nunmehr die Berechnung mit dem Brandsimulationsprogramm MRFC. Mangels meinerseits noch zu geringer Erfahrung mit dem Programm hinsichtlich zu wählender maßgeblicher Parameter (Raumgeometrie, Kombination von Variationsmöglichkeiten etc.), müssen zahlreiche verschiedene Varianten untersucht werden.

##### 4.4.1 Variationen bei den Berechnungen

Für den Vergleich ist es wichtig, alle wichtigen Varianten zu untersuchen. Die dann maßgebliche Konstellation aus verschiedenen Ereignissen, z. B. Anzahl der Brandabschnitte oder Öffnungsfläche der NRA ist hierbei herauszufinden.

Vergleichbar ist dies mit der Bildung von Lastfallkombinationen bei der maßgebenden Tragwerksbelastung. Nicht immer ist die augenscheinlich offensichtlichste Kombination die entscheidende.

Für den Vergleich wurden 6 unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten (N1 – N6) herangezogen und getestet.

Tabelle 4.9 N1

N1; Anzahl der Räume bei Modellierung	
0	1 Raum
1	2 Räume
2	4 Räume

Erklärung für die unterschiedliche Anzahl der Räume:

Die Anzahl der Räume ist bei der Berechnung mit entscheidend. Erfahrungsgemäß kann davon ausgegangen werden, dass sich Rauch nach ca. 40 m abkühlt und dann nach unten sinkt. Da die Hallenlänge 80 m beträgt werden eine entsprechende Raumunterteilungen untersucht. Das Programm berechnet und mittelt die Schichtgrenze<sup>10</sup> bezogen auf den jeweiligen Raum. Ist nun die Halle in mehrere Räume unterteilt, wird die Schichtgrenze für jeden Raum neu berechnet und dabei auch die vorgenannten Fakten berücksichtigt. Mit der Anzahl der Mittlungen steigt die Genauigkeit und die Annäherung an die tatsächliche Rauchgasverteilung.

Tabelle 4.10 N2

N2; Plumeformeln	
0	Mc Caffery/ Thomas u. Hinkley (MRFC mod.)
1	Thomas und Hinkley

Erklärung für die unterschiedlichen Plumeformeln:

---

<sup>10</sup> Die Schichtgrenze trennt die raucharme Schicht von der Rauchsicht (Heißgasschicht).

In DIN 18 232-2 werden verschiedene Plumeformeln verwendet. Diese hängen von ihrem jeweiligen Geltungsbereich ab. Die Plumeformeln besitzen auch unterschiedliche Einflussfaktoren. Auch MRFC kann mit verschiedenen Plumeformeln rechnen. Bei den unterschiedlichen Varianten wurde getestet, ob die Plumeformeln bei dieser Versuchshalle maßgebend sind.

Tabelle 4.11 N3

N3; Zeitpunkt der NRA-Öffnungen	
0	Ab 0 sec. 100% offen
1	Bei 0 sec. 0% → bei 60 sec. 100%
2	Bei 60 sec. 0% → bei 120 sec. 100%

Erklärung der unterschiedlichen Öffnungszeiten:

Hierbei wird untersucht ob unterschiedliche Öffnungszeiten relevant für die Höhe der raucharmen Schicht sind. Da die Halle eine BMA besitzt und alle Tore auf die BMA aufgeschaltet werden können, wird getestet ob in der Anfangsphase der zeitliche Ablauf der Zuluftöffnungen eine wesentliche Rolle spielt. Eine Zeitverzögerung bis 120 sec wird mit „N3=2“ untersucht. (Aufgeschaltete NRA-Geräte müssen innerhalb von 60 sec. geöffnet haben.)

Tabelle 4.12 N4

N4; Lage des Brandherdes	
0	Mitte in Raum
1	Mitte in Raum 1
2	Mitte in Raum 2

Erklärung für die Lage des Brandherdes:

Die Lage des Brandherdes ist wichtig, wenn sich die Ventilationsbedingungen in der Halle stark ändern. Wenn z. B. auf einer Seite große Zuluft- und Abluftflächen befinden und auf der gegenüberliegenden Seite fast keine angeordnet sind, kann die Lage des Brandherdes Einfluss auf die Bauteiltemperaturen nehmen. Die DIN 18232 setzt einen Normbrand voraus. Dieser wird immer in Raummitte gestartet. Der besseren Übersicht wegen wurde die Lage des Brandes in die Berechnungen mit aufgenommen.

Tabelle 4.13 N5

N5; Öffnungsfläche der NRA's	
0	16 x 1,2/1,2 m = 23,04 m <sup>2</sup> entsprechen A <sub>w</sub> = 16 m <sup>2</sup>
1	Nur im Brandraum, bei 2-Raummodell 8 x 1,2/1,2 m
2	Brandraum 8 x 1,2/1,2; R2 0,5 x 8 x 1,2/1,2 erst bei t = 20 min
3	8 x 1,2/1,2 m in Raum 1 und Raum 3

Erklärung zur der Öffnungsfläche:

Die Öffnungsfläche ist mit maßgebend für die Einhaltung der raucharmen Schicht. Gerade deshalb ist diese Variation wichtig. Die Variation N5=0 besagt, dass 16 NRA-Öffnungen mit den Rohbaumaßen 1,2 m \* 1,2 m eingebaut sind. Die Umrechnung von

Rohbaumaßen in aerodynamisch wirksame Flächen erfolgt mit dem Kontraktionskoeffizienten. Nachdem die unterschiedlichen Möglichkeiten untersucht sind, wird später nur noch der Öffnungsgrad verändert.

Tabelle 4.14 N6

N6; Rauchschürzenhöhe	
0	0 m
1	1 m
2	2 m
3	3 m, 3,5 m bei .....x Berechnung

Erklärung zur Rauchschürzenhöhe:

Ist die maßgebende Kombination gefunden, muss diese mit den unterschiedlichen Höhen der Rauchschürzen überprüft werden. Hierbei wird untersucht, ob eine Unterströmung der Rauchschürze stattfindet. Eine Berechnung mit 3,5 m Rauchschürzenhöhe ist für das Finden der maßgebenden Kombination nicht erforderlich, da die Berechnungen zeigen, dass bereits bei einer Rauchschürzenhöhe von 3,0 m eine Unterströmung nicht mehr stattfindet.

Für den Vergleich mit MRFC wurden insgesamt 34 Varianten gebildet. Die Auswertung wurde jeweils in einer Excel-Tabelle vorgenommen. Dabei war es hilfreich, daß hier die Standardauswertung genügte.

Die Standardauswertung ist ein erstelltes Marko in Excel. Die Daten werden dabei von den Ausgabefiles von MRFC eingelesen und einzelne Diagramme erstellt. Mit Hilfe dieser Diagramme kann dann die Auswertung des Benutzers erfolgen.

Mit den verschiedenen Varianten wurden die Dateinamen benannt.

N1 N2 N3 N4 N5 N6.xls

Zum Beispiel beinhaltet die Berechnung 00000.xls:

- 1 Raum
- Plumeformel Mc Caffery/ Thomas u. Hinkley (MRFC mod.)
- Ab 0 sec. 100% offen
- Brandherd in Raum Mitte
- $16 \times 1,2/1,2 \text{ m} = 23,04 \text{ m}^2$  entsprechen  $A_w = 16 \text{ m}^2$

(Die Variante N6 wurde erst bei den maßgebenden Kombinationen eingesetzt.)

Da die DIN 18 232 aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche ausgibt und mit MRFC die Eingabe in lichte Öffnungsmaße erfolgt, muss diese  $A_w$  umgerechnet werden.

Dabei entspricht der Kontraktionskoeffizient von MRFC bei den Öffnungen den Durchflussbeiwerten nach DIN.

$$A_w/0,7 = A_{\text{Lichte Öffnungsmaße}}$$

Bei 16 angeordneten NRA-Geräten wird  $1,0 \text{ m}^2 A_w$  je Gerät benötigt. Dies entspricht nach der Umrechnung auf Öffnungsmaße einer Fläche von jeweils  $1,43 \text{ m}^2$ .

Bei einer Seitenlänge der NRA von  $1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$  ( $= 1,44 \text{ m}^2$ ) wird die Vorgabe von  $1,43 \text{ m}^2$  fast exakt eingehalten. Die minimale Abweichung bei der 2. Nachkommastelle wird hierbei vernachlässigt.

Die Anordnung der NRA's erfolgt gemäß DIN gleichmäßig für jeweils  $200 \text{ m}^2$  Grundfläche.

Wie bereits erwähnt wird der Vergleich zwischen MRFC und der DIN 18 232 über die raucharme Schichtdicke hergestellt. Gleichzeitig wurde die Flammenhöhe überprüft, da der Geltungsbereich der Plumeformeln nach DIN 18 232 von der Flammenhöhe abhängt.

#### 4.4.2 Ergebnisse 1-Raum-Modell

Das 1-Raum-Modell ist die einfachste Art die Geometrie darzustellen. Leider können bei dieser 1-Raumgeometrie größere Ungenauigkeiten bei der Rauchgasverteilung auftreten.

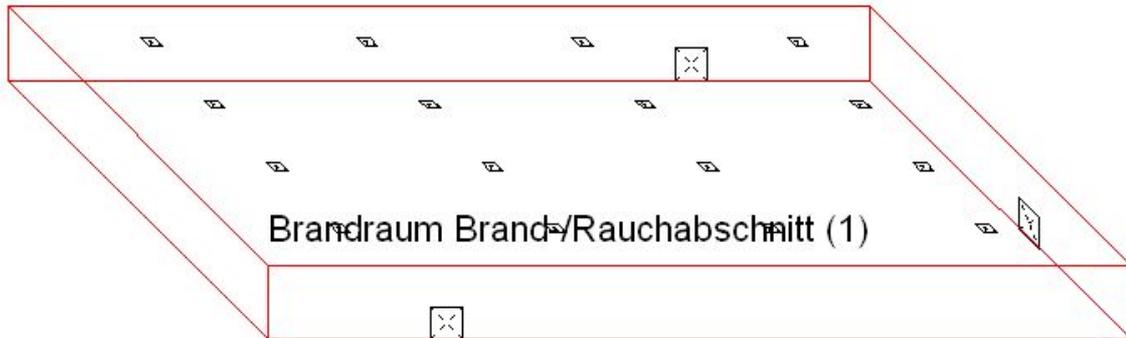


Abbildung 4.6 MRFC 1-Raum-Geometrie

Bei diesem 1-Raum-Modell werden nach folgender Tabelle die Parameter:

- N1 = 1-Raum-Modell                    festgesetzt,
- N2 = Plumeformeln                    variiert,
- N3 = Zeitpunkt der Öffnungen        variiert,
- N4 = Lage des Brandherdes           festgesetzt,
- N5 = Öffnungsfläche der NRA's       festgesetzt.

Tabelle 4.15 Schichtdicken 1-Raum-Modell

Versuch:	Schichtdicke der raucharmen Schicht [m]
00000	5,4
01000	5,3
00100	5,4
01100	5,3
00200	5,3
01200	5,3

Bei Versuchsreihe 1 wurde die Plumeformel und der Zeitpunkt der NRA-Öffnungen ausgetestet. Bei  $t = 10$  min wird der Minimalwert für die Schichtgrenze erreicht. Nach 10 min beträgt die Schichtdicke ungefähr 5,5 m konst. bis zum Brandende. Die unterschiedlichen getesteten Plumeformeln haben auf den Vergleich keine großen Auswirkungen. Ebenso die Variation mit dem zeitlichen Ablauf der Öffnungen. Es ist nur ein Anfangsproblem festzustellen. Die einzelnen Schichtdicken sind mit den gewählten Randbedingungen zwischen 5,3 m und 5,4 m am geringsten. Nach dieser Brandsimula-

tion kann der Öffnungsgrad von vorhanden 100 % herabgesetzt werden, um dennoch die angestrebten 4,0 m zu erreichen. Im folgendem Diagramm ist der Verlauf der einzelnen Variationen gut zu erkennen.

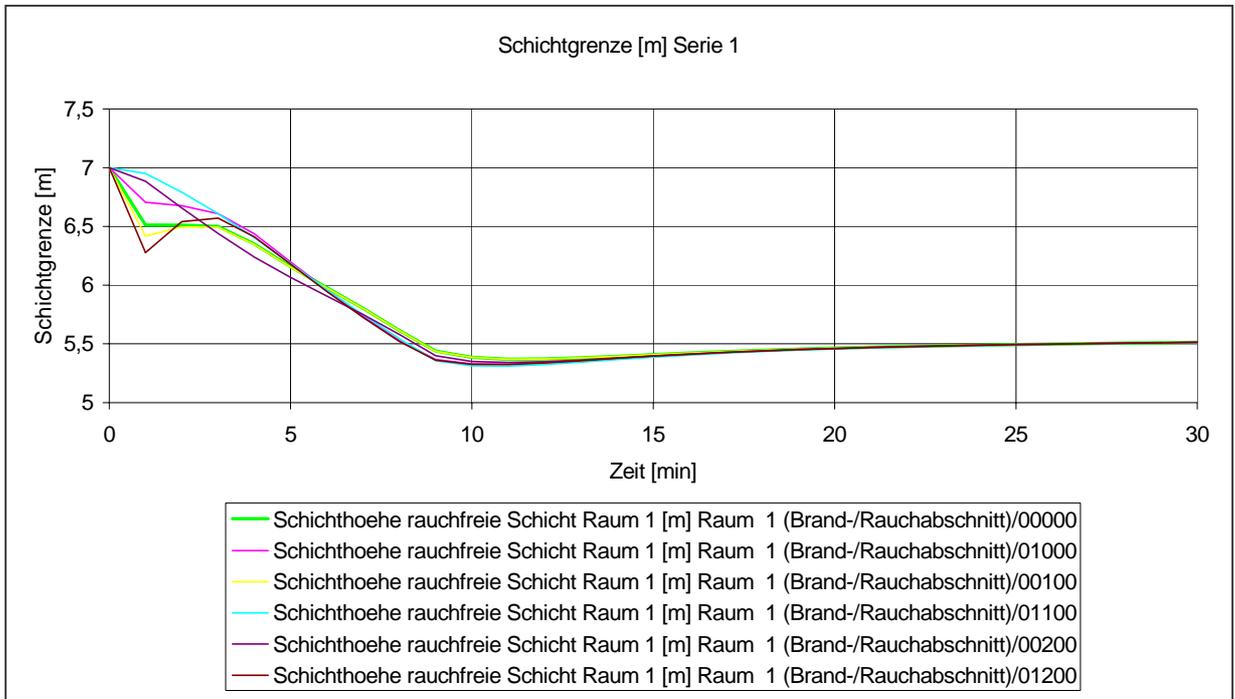


Abbildung 4.7 Schichtgrenze 1-Raum-Modell

Bei den einzelnen Varianten gibt es Differenzen von  $t = 0$  bis ungefähr  $t = \text{ca. } 11$  Minuten. Anschließend gleichen sich die Schichtgrenzen an.

### 4.4.3 Ergebnisse 2-Raum-Modell

Um das Abkühlen des Brandrauches berücksichtigen zu können, wird ein weiteres Simulationsmodell mit einer veränderten Raumgeometrie erstellt. Bei dieser 2-Raum-Geometrie wird die 3.200 m<sup>2</sup> große Grundfläche in zwei gleich große Räume, mit jeweils 40 m \* 40 m = 1.600 m<sup>2</sup>, aufgeteilt.

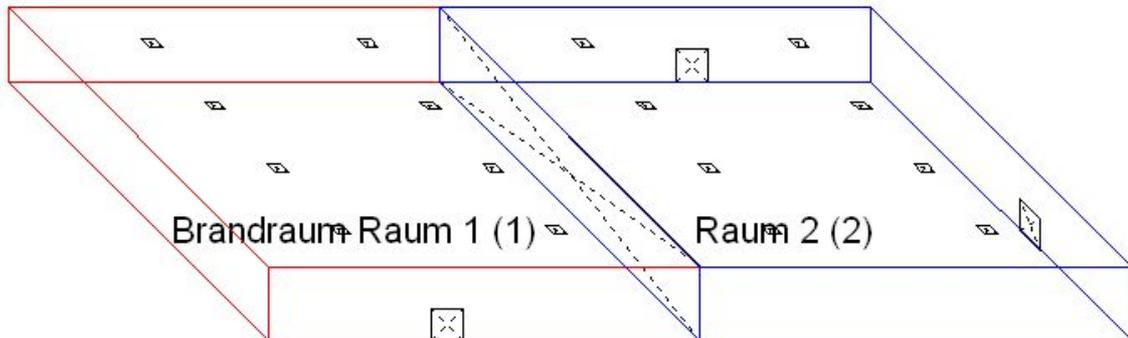


Abbildung 4.8 MRFC 2-Raum-Geometrie

Bei diesem 2-Raum-Modell werden nach folgender Tabelle die Parameter:

- N1 = 2-Raum-Modell                      festgesetzt,
- N2 = Plumeformeln                      festgesetzt,
- N3 = Zeitpunkt der Öffnungen        festgesetzt,
- N4 = Lage des Brandherdes          variiert,
- N5 = Öffnungsfläche der NRA's      variiert,
- N6 = Rauchschürzenhöhe            variiert.

Tabelle 4.16 Schichtdicken 2-Raum-Modell

Versuch:	Schichtdicke d1 [m]	Schichtdicke d2 [m]
10010	5,4	5,2
100101	5,4	5,4
100102	4,7	6,3
100103	4,4	7,0
10020	5,2	5,4
100201	5,4	5,3
100202	6,3	4,7
100203	7,0	4,4
10011	4,5	4,2
100111	4,6	4,3
100112	4,6	4,4
100122	4,7	4,6 / bei $t_{50\min}$ 6,4
100113	4,3	7,0

Bei Versuchsreihe 2 ist aus folgendem Diagramm ersichtlich, daß die Lage des Brandherdes hier nicht relevant ist. Das 2-Raummodell zeigt aber, daß ohne Rauchschürze der Rauch, im nicht brennenden Raum, tiefer sinkt. Dies beweist die Theorie, dass sich der Rauch abkühlt.

Mit dem Einbau der Rauchschürze von 3 m Höhe ist zu sehen, daß der Rauch bei Versuch 100103 und 100113 nicht in den anderen Raum gelangt. Eine Unterströmung ist somit nicht gegeben.

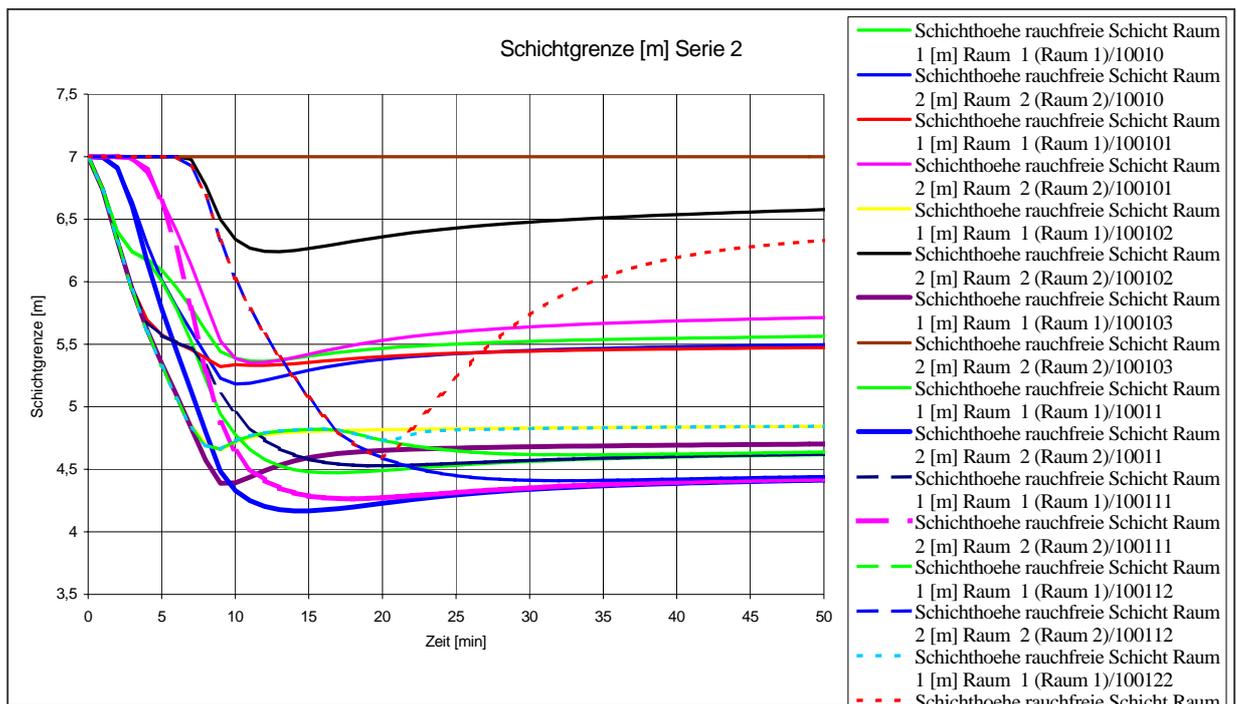


Abbildung 4.9 Schichtgrenze 2-Raum-Modell

Das obige Diagramm wirkt auf den ersten Blick etwas unübersichtlich. Die Auswertungen selbst wurden jedoch aus den entsprechenden Einzeldiagrammen erstellt, nur beim Vergleich der 2-Raum Serie wurde ein Diagramm mit fast allen Versuchen dieser Serie zusammengestellt. Die einzelnen relevanten Unterschiede lassen sich dennoch hinreichend genau ablesen. So kann z. B. bei Berechnung 100122 das Öffnen nach  $t = 20$  Minuten festgestellt werden. Die einzelnen dargestellten Variationen zeigen, dass zu den geforderten 4,0 m Schichtdicke kaum mehr Spielraum vorhanden ist.

#### 4.4.4 Ergebnisse 4-Raum-Modell

In der Praxis würde man voraussichtlich auf eine weitere Raumunterteilung verzichten, da die max. Länge einer Raumgeometrie von 40 m bereits eingehalten ist. Um bei den Vergleichsberechnungen sicherzustellen dass nicht eventuell ungünstigere Varianten weggelassen wurden, wird hier die Grundfläche nun in ein 4-Raum-Modell aufgeteilt.

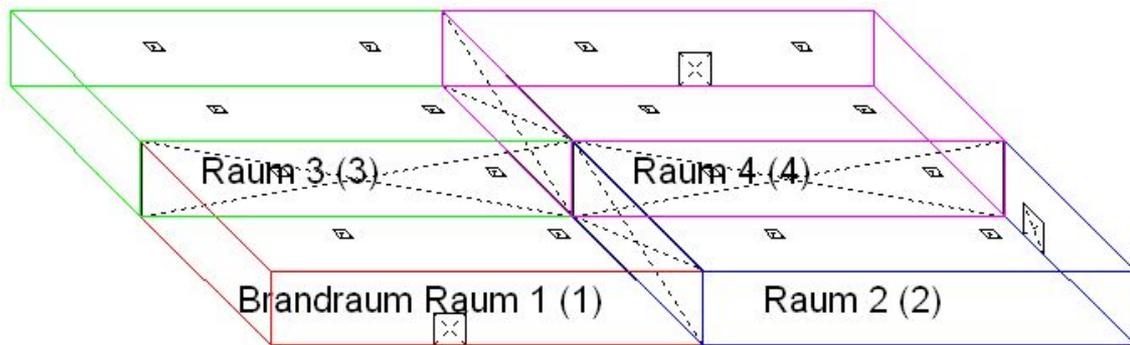


Abbildung 4.10 MRFC 4-Raum-Geometrie

Bei diesem 4-Raum-Modell werden nach folgender Tabelle die Parameter:

- N1 = 4-Raum-Modell                      festgesetzt,
- N2 = Plumeformeln                        variiert,
- N3 = Zeitpunkt der Öffnungen        festgesetzt,
- N4 = Lage des Brandherdes            festgesetzt,
- N5 = Öffnungsfläche der NRA's        variiert,
- N6 = Rauchschrzenhöhe                variiert.

Tabelle 4.17 Schichtdicken 4-Raum-Modell

Versuch:	Schichtdicke d1 [m]	Schichtdicke d2	Schichtdicke d3	Schichtdicke d4
21010	5,4	5,2	5,2	5,0
20010	5,4	5,2	5,3	5,1
20011	3,3	2,9	3,0	2,8
20013	4,5	4,1	4,3	4,0
200103	4,4	4,2	7,0	7,0
200113	3,4	3,1	3,3	3,2
200133	4,4	4,1	7,0	7,0

Die Ergebnisse mit dem 4-Raum-Modell zeigen nun noch deutlicher als beim 2-Raum-Modell wie sich die Rauchsicht abkühlt. Ebenso ist erkennbar, daß wenn zu wenig NRA's geöffnet sind, die Rauchsicht bis auf 2,8 m absinkt.

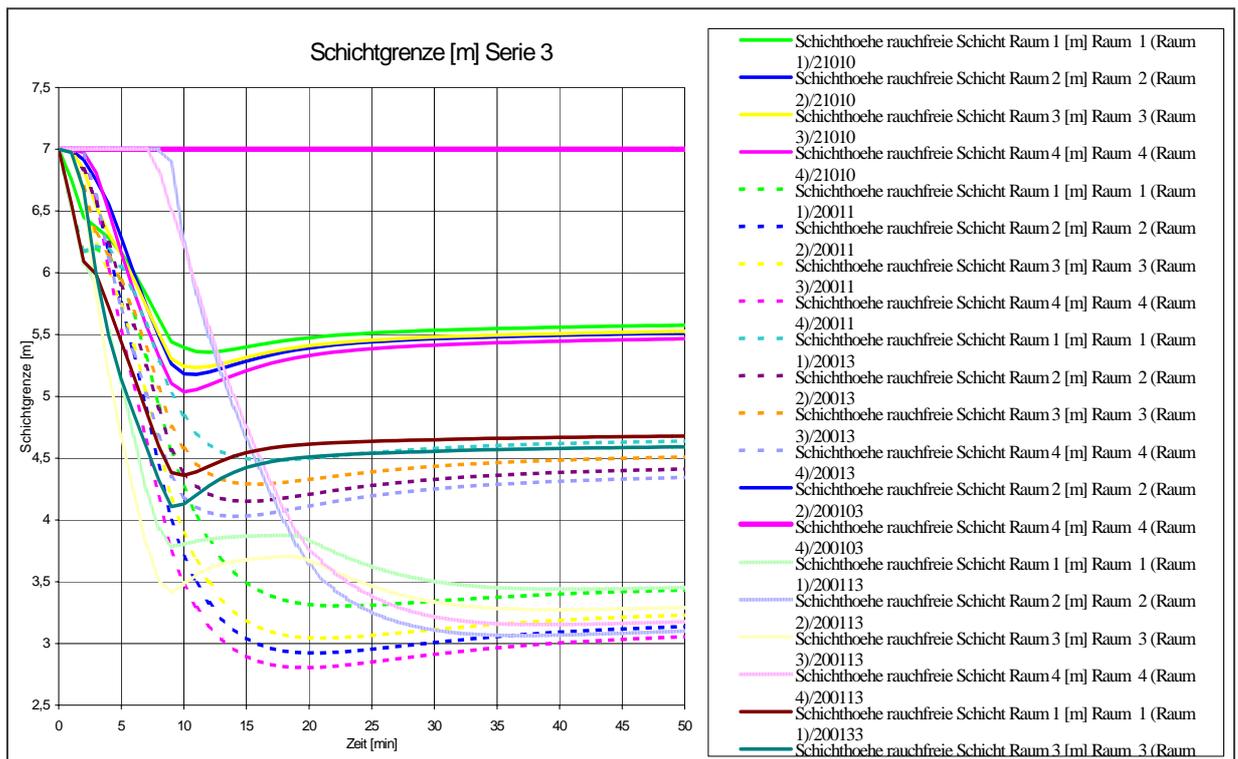


Abbildung 4.11 Schichtgrenze 4-Raum-Modell

Die Berechnungen der 4-Raum-Geometrie sind nun hinreichend genau und es muss keine weitere Unterteilung erfolgen. Nun können die maßgebenden Variationen für den Vergleich mit der DIN (normatives Verfahren) zusammengestellt werden.

Für den Vergleich mit der DIN 18 232 ist nun wichtig:

1. Wie viel NRA-Fläche wird benötigt, um gerade noch ohne Rauchschrürze auszukommen?
2. Wie viel NRA-Fläche wird benötigt, wenn eine Rauchschrürze zur Ausführung kommt?

Die Vorgabe ist hier jeweils eine Schichthöhe der raucharmen Schicht von, möglichst exakt,  $d = 4$  m zu erreichen.

Für „1.“ (ohne Rauchschrürze) werden folgende ungünstigsten Fälle untersucht:

1-Raummodell, alle NRA's geöffnet	01000 → 01000x
2-Raummodell, alle NRA's geöffnet	10010 → 10010x
4-Raummodell, alle NRA's geöffnet	21010 → 21010x
4-Raummodell, NRA's nur in Hallenhälfte geöffnet	20013 = 20013x

Die Benennung mit „x“ erfolgt, da der Originaldatensatz nicht geändert werden soll. Bei 20013 wird keine Untersuchung mehr benötigt, da die Schichtdicke der raucharmen

Schicht in Raum 4 schon bei 4 m vorhanden ist. Aus dieser Variante ergeben sich für  $A_w = 8 \text{ m}^2$  hervor.

Tabelle 4.18 Ergebnisse der Auswertung für die erforderlichen NRA-Flächen

Versuch	Öffnungsgrad	Schichtdicken der raucharmen Schicht	Notwendige Öffnungsfläche der NRA's
01000x	37 %	d = 4 m	$A_{\text{licht}} = 1,2 * 1,2 * 16 * 0,37 = 8,5 \text{ m}^2$ $A_w = 8,5 * 0,7 = 6 \text{ m}^2$
10010x	45 %	d1 = 4,3 m; d2 = 4,1 m	$A_{\text{licht}} = 10,4 \text{ m}^2$ $A_w = 7,3 \text{ m}^2$
21010x	49 %	d1 = 4,4 m; d2 = 4,2 m d3 = 4,2 m; d4 = 4 m	$A_{\text{licht}} = 11,3 \text{ m}^2$ $A_w = 7,9 \text{ m}^2$
20013x	100%	d4 = 4 m	$A_{\text{licht}} = 11,5 \text{ m}^2$ $A_w = 8 \text{ m}^2$

Für „2.“ (mit Rauchschütze = RS) werden folgende ungünstigsten Fälle untersucht:

2-Raummodell, RS, alle NRA's geöffnet	100103 →	100103x
2-Raummodell, RS, NRA's nur in Hallenhälfte geöffnet	100113 →	100113x
4-Raummodell, RS, alle NRA's geöffnet	200103 →	200103x
4-Raummodell, RS, NRA's nur in Hallenhälfte geöffnet	200133 →	200133x

Tabelle 4.19 Ergebnisse der Auswertung für die erforderliche NRA-Flächen mit Rauchschürze von 3,5 m

Versuch	Öffnungsgrad	Schichtdicken der raucharmen Schicht	Notwendige Öffnungsfläche der NRA's
100103x	80 % je Seite	d = 4 m	$A_{\text{licht}} = 1,2 * 1,2 * 8 * 0,8 = 9,2 \text{ m}^2$ $A_w = 9,2 * 0,7 = 6,4 \text{ m}^2$
100113x	80 % auf Brandseite	d = 4 m	$A_{\text{licht}} = 9,2 \text{ m}^2$ $A_w = 6,4 \text{ m}^2$ je Seite
200103x	90 %	d3 = 4 m	$A_{\text{licht}} = 1,2 * 1,2 * 8 * 0,9 = 10,4 \text{ m}^2$ $A_w = 10,4 * 0,7 = 7,3 \text{ m}^2$
200133x	91 %	d3 = 4 m	$A_{\text{licht}} = 1,2 * 1,2 * 8 * 0,91 = 10,5 \text{ m}^2$ $A_w = 7,3 \text{ m}^2$

#### 4.5 Zusammenfassung der Berechnungen

Die Berechnungen haben gezeigt, dass eine Rauchschrürze nützlich ist. Denn ohne Rauchschrürze sinkt der Rauch infolge Abkühlung nach langer Wegstrecke herab.

Insbesondere Versuch 21010x zeigt dies deutlich. Die raucharme Schicht in Raum 1 ( $d_1 = 4,4$  m) sinkt in Raum 4 ( $d_4$ ) auf 4 m herab.

Bei dieser Versuchshalle kann, wenn eine Rauchschrürze hinderlich erscheint, auf diese verzichtet werden, wenn die Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) der gesamten Halle bei Brand geöffnet werden.

In der Anfangsphase spielt dabei die Zeit bis zum Öffnen der Zuluftöffnungen keine wesentliche Rolle. Das Öffnen sollte aber nach ca. 4-5 min erfolgt sein, da sich eine homogene raucharme und kalte Schicht bilden muss. Das Öffnen der Zuluftflächen muss entweder durch die Feuerwehr, Betriebsangehörige oder nach Aufschaltung auf die Brandmeldeanlage (BMA) sichergestellt sein.

Die Bemessung ohne den Einbau einer Rauchschrürze kann nach MRFC auf  $8 \text{ m}^2 A_w$ , in der Halle gleichmäßig verteilt, erfolgen. Mit der Rauchschrürze sind es rechnerisch  $7,4 \text{ m}^2$  d. h. ebenfalls ungefähr  $8 \text{ m}^2$  je Rauchabschnitt.

Es ist aber klar zu sagen, dass mit einer Rauchschrürze der Rauch, nach vorgegebenen Brandzenarium, nicht in die 2. Hallenhälfte gelangt, und somit im Falle eines Brandes der Schaden durch Wiederinstandsetzung und Produktionsausfall geringer gehalten werden kann.

Die Berechnungen nach DIN 18 232-2 haben eine Rauchschrürze von 3,5 m Höhe und  $A_{w,ges}$  mit  $16 \text{ m}^2$  als Ergebnis gefordert.

Die DIN setzt eine Rauchschrürze je  $1.600 \text{ m}^2$  Fläche voraus, um eine Unterteilung einzelner „Räume“ zu bekommen. Mit MRFC kann gezeigt werden, dass die Rauchschrürze nicht unbedingt erforderlich ist. Wenn die Raucharmeschicht von  $d_1 = 4,4$  m auf Raum 4 mit  $d_4 = 4$  m und eine NRA-Fläche mit gesamt  $8 \text{ m}^2$  ( $7,4 \text{ m}^2$ ) akzeptiert werden, können die Hälfte der NRA's und die Rauchschrürze eingespart werden.

Die Berechnungen von MRFC mit einer Rauchschrürze ergeben die annähernd gleichen Resultate, wie der Einsatz mit der DIN 18 232-2 (vgl.  $7,4 \text{ m}^2$  zu  $8 \text{ m}^2$ ).

Dem Bauherrn könnten folgende Ausführungsvarianten vorgeschlagen werden, damit das Schutzziel einer 4 m Schichtdicke der raucharmen Schicht eingehalten wird:

<b>Variante 1 mit einer Rauchschrürze</b> <b>(Berechnung nach DIN 18232-2):</b>	<b>Variante 2 ohne Rauchschrürze</b> <b>(Berechnung mit MRFC):</b>
1. Einbau von $A_w = 8 \text{ m}^2$ je Hallenhälfte.	1. Einbau von $A_w = 8 \text{ m}^2$ ( $7,4 \text{ m}^2$ ) in gesamter Halle.

2. Einbau einer Rauchschürze von mind. 3,5 m Höhe.	2. Sicherstellung, dass beim Brand alle NRA-Geräte geöffnet werden.
3. Zuluftöffnungen müssen sichergestellt sein.	3. Zuluftöffnungen müssen sichergestellt sein.
<b>Vorteile</b>	<b>Vorteile</b>
Rauch bleibt in Hallenhälfte.	Keine Rauchschürze erforderlich. Nur 8 m <sup>2</sup> A <sub>w</sub> der NRA-Geräte erforderlich.
→ Instandsetzung und Produktionsausfall bei kleinem Brand günstiger.	→ Kostengünstiger bei Investition.

Es liegt nun im Ermessen des Bauherrn, für welche Lösung er sich entscheidet. Dabei spielt auch bestimmt die Versicherungsprämie, die das Restrisiko abdecken soll, und der betriebliche Ablauf eine wesentliche Rolle.

## 5 Verifikation von Brandsimulationsprogrammen

### 5.1 Einführung

Bei Programmen die zur Anwendung kommen um Brandwirkungen zu simulieren, muss sichergestellt sein, dass diese mit den angenährten Modellannahmen auch der Realität entsprechen. Der Anwender muss, mit Grundlagenkenntnissen der Programme und deren Berechnungsgrundsätzen, in der Lage sein die Ergebnisse zu bewerten, beziehungsweise muss sichergestellt sein, dass entsprechende Programme keine großen und somit entscheidenden Fehlerbewertungen zulässt. Um dafür zu sorgen müssen die Programme überprüft werden.

Der Vorgang dieser Überprüfung bezeichnet man als Verifikation. Wörtlich aus Duden [10] ... *durch Überprüfen der Richtigkeit einer Sache bestätigen...* . Im Einzelnen werden die Richtigkeit der theoretischen Basis und die Annahmen im Modell auf mathematischer Fehler hin überprüft. Diese Überprüfung umfasst ebenfalls einen Vergleich mit experimentell ermittelten Daten.

Um ein Programm zu überprüfen beziehungsweise Fehler in den Modellannahmen zu finden gibt es unterschiedliche Methoden:

- *Überprüfung der theoretischen Grundlagen des Modells*; es werden speziell sämtliche physikalische und chemische Grundlagen und die getroffenen Annahmen überprüft.
- *Analytische Tests*; es werden bekannten Problemstellungen mit mathematischen Lösungen verglichen. Dies ist jedoch nur selten möglich, da für komplizierte Brandszenarien keine analytische Lösungen bekannt sind.
- *Vergleich mit anderen Modellen*; es werden Ergebnisse mit einem schon getesteten Programm verglichen. Dabei müssen die Eingabedaten richtig sein.
- *Experimenteller Vergleich*; es wird entweder „blind“ vorausgerechnet oder tatsächliche Messwerte mit bekannten Ausgangswerten verglichen. Dies ist der primäre Weg einer Verifikation. Das Modell wird mit den „Standard-Werten“ getestet. Einzelne Parameter können festgelegt werden. Aber erst der Vergleich zeigt, wo die Schwächen oder auch die Stärken sind, und wo eventuell nachgebessert werden sollte. Für den Vergleich müssen bei den experimentellen Daten die Messfehler bekannt sein.
- *Überprüfung des Codes*; von einer unabhängigen Stelle kann der Quellcode mit Prüfungsprogrammen überprüft werden. Dabei wird nur die Korrektheit der mathematischen Formeln getestet nicht jedoch die Genauigkeit des Programms.

Tabelle 5.1 Techniken zur Ermittlung von Fehlern und Unzulänglichkeiten in Brandmodellen aus [9]

Fehler Methode	falscher Algorithmus	falsche Konstante	fehlender Prozess	ungeeignete Numerik	Codefehler
theoretische Überprüfung	x	x	x	x	-
analytischer Test	-	-	x	-	x
Vergleich mit 2. Programm	x	x	x	-	-
experimenteller Vergleich	-	x	x	-	x
Überprüfung des Codes	-	-	-	-	x

Im Folgenden wird ein experimenteller Vergleich durchgeführt.

An der MFPA Leipzig in Laue wurden zwischen Mai und Juni 2003 mehrere Brandversuche durchgeführt. Es sollen nun die experimentell ermittelten Ergebnisse mit dem Programm Multi-Room-Fire-Code verglichen werden.

Zuerst werden die Einstellungen von MRFC nicht verändert. Ohne die Ergebnisse zu kennen erfolgt die Berechnung mit den im Programm gegebenen Standard-Werten. Als würde es sich um ein „Vorausrechnen“ handeln. Die Versuchsgeometrien und Brand-szenario relevanten Daten werden so genau wie möglich eingegeben. Die Ergebnisse werden dann an Hand bestimmter Parameter in Diagrammen direkt mit den experimentell ermittelten verglichen. Dieser Vergleich über die Genauigkeiten wird auf alle Plu-meformeln, welche in MRFC enthalten sind, angewandt.

Nachdem mit dem Programm „blind“ vorausgerechnet wurde, wird als nächster Schritt versucht, wenn Abweichungen vorhanden sind, den experimentellen Messwerten über das Verändern von MRFC - Eingabewerten anzugleichen. Dabei muss immer bedacht werden, ob eine Anpassung sinnvoll, richtig und ingenieurmäßig vertretbar ist.

## 5.2 Versuchsberechnungen der MFPA Leipzig in Laue

### 5.2.1 Versuchsaufbau der Versuche

#### 5.2.1.1 Angaben zu dem Brandversuchsstand

Der Brandversuchsstand C der MFPA Leipzig besteht aus einem turmartigen Bauwerk, an das ein kleiner Brandversuchsraum anschließt.

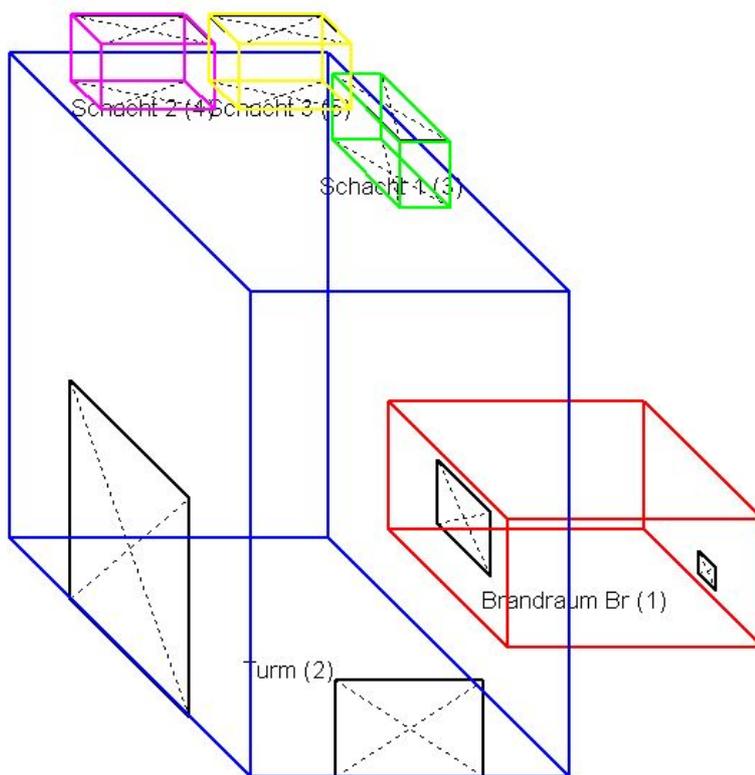
Die folgende Abbildung 5.1 zeigt den Versuchsstand C der MPFA Leipzig, in dem die Brandversuche durchgeführt werden. Es handelt sich um ein ca. 10 m hohes Turmbauwerk mit einer Länge von 8,2 m und einer Breite von 6,2 m, an den ein Versuchsraum mit ca. 20 m<sup>2</sup> (kleiner Brandraum) angeschlossen ist, in dem zwei der vier Brandversuche erfolgen sollen. Im großen Versuchsraum (Turm) stehen zwei Tore als Zuluftöffnungen zur Verfügung, das kleinere Tor wird für die Versuche geöffnet. Bei den ersten beiden Versuchen wird das Poolfeuer im kleinen Brandraum platziert, bei den Versuchen 3 und 4 werden die Wannen mit dem Brandstoff in Turmmitte platziert.



Abbildung 5.1 Versuchsstand MFPA Leipzig in Laue

Torgröße:	großes Tor:	4 m breit, 4,5 m hoch
	kleines Tor:	3 m breit, 2 m hoch

Die folgende Abbildung 5.2 zeigt die Raumgruppe als isometrische Abbildung. Der Versuchsstand, hier als "Turm (2)" bezeichnet, hat im Kopf drei 2,3 m lange und 1,0 m breite Rauchabzugsöffnungen, die als Schlot ausgebildet sind.



Die Höhe der Schlote beträgt 1,0 m. Für die Versuche werden die Schlote 1 und 3 geöffnet.

Zwischen dem Brandraum und dem "Turm" befindet sich eine 1,78 m breite und 1,30 m hohe Öffnung in der Art eines Fensters. Der Brandraum selbst ist 5,27 m lang, 4 m breit und 2,63 m hoch.

Abbildung 5.2 MRFC Geometrie Versuchsstand

Die folgende Abbildung 5.3 zeigt den großen Brandraum (Turm) von innen mit Blick auf dieses Fenster.

Für die ausführliche Darstellung der Geometrie und der Lage der Messstellen für Temperaturen, Strömungsgeschwindigkeiten, Gasanteile wird verzichtet.



Abbildung 5.3 Brandraum

### 5.2.1.2 Baustoffe der Brandräume

„Brandraum“: Wände und Decken aus feuerfestem Beton mit einer Dicke von 50 cm.

„Turm“: Wände aus Porenbeton mit einer Dicke von 40 cm,

Decke aus Stahlbeton mit einer Dicke von 35 cm.

### 5.2.1.3 Angaben zum Prüffeuier

Brandstoff: Isopropanol

Menge: Je nach Versuch unterschiedlich (1l Brandstoff wiegt 0,8 kg).

Anordnung: In vier Stahlwannen, der Größe je nach Versuch unterschiedlich.

Verteilung der Wannen jeweils mittig zentriert in den Brandräumen.

### 5.2.1.4 Versuchsbericht – Versuch 1

Für die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sind zuerst die Versuchsberichte der einzelnen Versuche dargestellt. Diese dienen als Angabe für das Erstellen der Brandsimulation und soll Personen einen Überblick verschaffen welche die Versuche nicht real miterlebt haben. Neben dieser Daten stand noch die gemessene Brandleistung zur Verfügung.

Tabelle 5.2 Versuchsbericht 1

Tag	21.05.2003	Prüfstand	Fassadenprüfstand C
Temp.	21 °C	Art des Versuches	Poolfeuer im Raum
Wind	0,5 – 1,1 m/s	Richtung	Südost

Brandstoff	Isopropanol	Masse	2 x 12,5 l
Anordnung	2 Wannen	Brandfläche	1 m <sup>2</sup> ( 2x 0,5 m <sup>2</sup> )

Heizwert	32000 kJ/kg	Q – gesamt	640.000 kJ
Brennzeit	590 Sekunden	Q f (d)	1084 kW

Tabelle 5.3 Beobachtungen Versuch 1

Zeit in Sec.	Beobachtung
3	Brandfläche brennt gesamt
5	vollständige Brandentwicklung im Raum
300	keine Flammen außerhalb der Öffnung
490	abnehmende Brandentwicklung
550	1. Wanne aus / rechts
590	2. Wanne aus /
590	Feuer Aus!

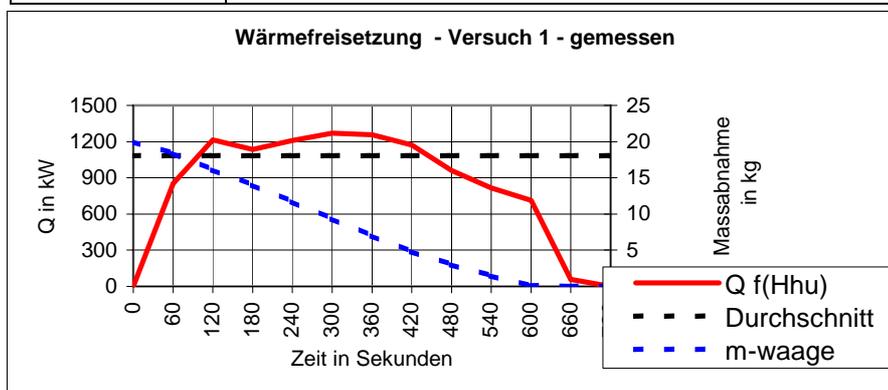


Abbildung 5.4  
Brandleistung  
Versuch 1

### 5.2.1.5 Versuchsbericht - Versuch 2

Bei Versuch 2 befindet sich das Poolfeuer ebenfalls im kleinen Brandraum. Jedoch jetzt mit 96 kg Brandstoff und auf einer Brandfläche von 2,38 m<sup>2</sup>. Die Brandleistung ist nun so stark, dass sogar aus der Fensteröffnung zwischen beiden Räumen die Flammen he-rausschlagen (siehe Abbildung 5.5).

Tabelle 5.4 Versuchsbericht 2

Tag	22.05.2003	Prüfstand	Fassadenprüfstand C
Temp.	16,7 °C	Art des Versuches	Poolfeuer
Wind	1,2 – 1,6 m /s	Richtung	Ost bis Nordost

Brandstoff	Isopropanol	Masse	120 l = 96 kg
Anordnung	in 4 Wannen	Brandfläche	2,38 m <sup>2</sup>

Heizwert	32000 kJ/kg	Q – gesamt	3.072.000 kJ
Brennzeit	675 Sekunden	Q f (d)	4550 kW



Abbildung 5.5 Brandentwicklung

Tabelle 5.5 Beobachtungen Versuch 2

Zeit in Sec.	Beobachtung
8	Brandfläche brennt gesamt
15	vollständige Brandentwicklung im Raum
20	Rauch aus der Fensteröffnung
45	pulsierende Flammen im Raum / haben Deckenberührung
90	Flammenspitzen aus der Fensteröffnung
125	Flammen stabil aus der Fensteröffnung, bis zu 1 m hoch
240	Flammen aus der Fensteröffnung, bis zu 2 m hoch
240	Rauchschicht ca. 4,5 m dick (von oben gesehen)
300	Flammen aus der Fensteröffnung, bis zu 3,5 m über dem Sturz Rauchschichtdicke max. 1,0 m
400	Flammen aus der Fensteröffnung, bis zu 4,5 m über dem Sturz nur wenig Rauch in der Decke des Turmes
540	Flammen aus der Fensteröffnung, bis zu 2,5 m über dem Sturz zunehmende Ausbildung einer Rauchschicht in der Decke des Turmes
560	reduzierte Brandentwicklung
580	keine Flamme aus der Öffnung; Rauchschicht wird zunehmend dicker; ca. 2 m
620	Brandentwicklung stark abnehmend
675	Feuer Aus!

### 5.2.1.6 Versuchsbericht - Versuch 3

In Versuch 3 ist nun die selbe Brandlast wie bei Versuch 1 (20 kg Isopropanol) vorhanden. Das Poolfeuer befindet sich jetzt aber mittig im Turm.

Tabelle 5.6 Versuchsbericht 3

Tag	22.05.2003	Prüfstand	Fassadenprüfstand C
Temp.	18,7 °C	Art des Versuches	Poolfeuer im Turm
Wind	1,1 – 2,1 m/s	Richtung	Ost bis Südost

Brandstoff	Isopropanol	Masse	2 x 12,5 l = 20 kg
Anordnung	in 2 Wannen	Brandfläche	2 x 0,5 m <sup>2</sup>

Heizwert	32000 kJ/kg	Q – gesamt	640.000 kJ
Brennzeit	630 Sekunden	Q f (d)	1015 kW



Abbildung 5.6 Brandentwicklung

Tabelle 5.7 Beobachtungen Versuch 3

Zeit in Sec.	Beobachtung
3	Brandfläche brennt gesamt
5	vollständige Brandentwicklung im Raum
20	Flammenhöhe 2,5 bis 3 m
60	Flammen durch Zuluftstrahl nach hinten verformt
300	pulsierende Flammen durch Einfluss des Zuluftstrahls
540	abnehmende Brandentwicklung
600	1. Wanne aus / rechts
630	2. Wanne aus /
630	Feuer Aus!

### 5.2.1.7 Versuchsbericht - Versuch 4

Bei Versuch 4 wird die größere Brandlast (96 kg Isopropanol) in Turmmitte entzündet. Diese Brandleistung ist in etwa mit „der Hälfte“ eines PKW-Brandes zu vergleichen.

Tabelle 5.8 Versuchsbericht 4

Tag	13.6. 2003	Prüfstand	Fassadenprüfstand C
Temp.	16.7 °C	Art des Versuches	Poolfeuer im Turm
Wind	1.2 - 1.6 m /s	Richtung	Ost bis Nordost

Brandstoff	Isopropanol	Masse	120 l = 96 kg
Anordnung	in 4 Wannen	Brandfläche	2.38 m <sup>2</sup>

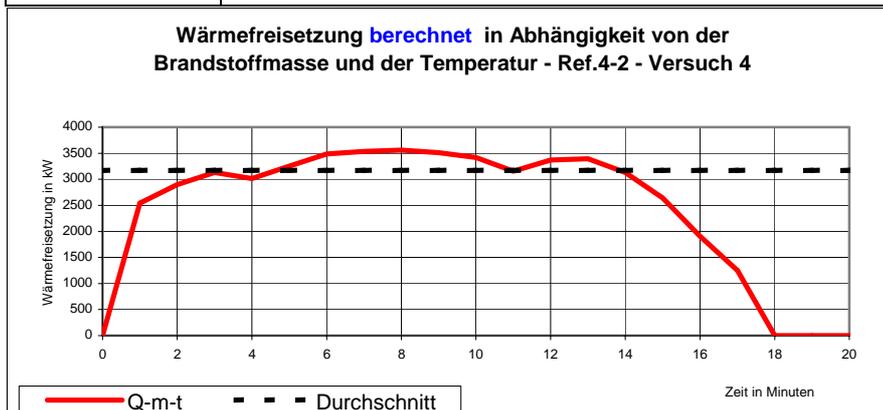
Heizwert	32000 kJ/kg	Q – gesamt	3.072.000 kJ
Brennzeit	970 Sekunden	Q f (d)	3167 kW



Abbildung 5.7 Brandentwicklung

Tabelle 5.9 Beobachtungen Versuch 4

Zeit in Sec.	Beobachtung
5	Brandfläche brennt gesamt
25	vollständige Brandentwicklung
200	beginnende Wärmewirkung auf den Beton
600	reduzierte Brandentwicklung
660	Brandentwicklung stark abnehmend
840	1. Wanne aus / links hinten
900	2. Wanne aus / links vorn
920	3. Wanne aus / rechts hinten
970	4. Wanne aus / rechts vorn
970	Feuer Aus !

Abbildung 5.8  
Brandleistung  
Versuch 4

## 5.2.2 Versuch 1 - Ergebnisse des Vergleichs

Die experimentellen Ergebnisse der Versuche standen mir in Form von Diagrammen und Tabellen zur Verfügung. Zunächst wurden die experimentell ermittelten Werte separat mit den mit MRFC berechneten Werte verglichen und danach die jeweiligen gemittelten Abweichungen berechnet. Um einen Überblick zu bekommen, welche Plumeformel im Vergleich zu den experimentellen Werte die besten Ergebnisse errechnet, sind die einzelnen Plumeformeln in einer Tabelle dargestellt.

Tabelle 5.10 Vergleich der Plumeformeln Versuch 1

Dateinamen	Plumeformeln	Lokale Messerte möglich  (es wird ggf. mit Schichtbezogenen Werte verglichen)	Abweichungen (ohne Max-Wert der Abweichung)			
			Temperaturen unter der Brandraumdecke  [°C]	O <sub>2</sub> im Brandraum  [Vol %]	CO <sub>2</sub> im Brandraum  [Vol %]	CO im Brandraum  [Vol %]
v1010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	ja	53,1	1,6	0,6	0,0
v1020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	ja	40,1	0,9	0,5	0,0
v1030	Thomas und Hinkley	nein, Fehlerwerte	79,3	2,3	1,0	0,0
v1040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	ja	46,9	1,3	0,5	0,0
v1050	Heskestad	ja	43,2	1,1	0,5	0,0
v1060	Cetegen	nein	43,2	1,1	0,5	0,0
v1070	Cox/ Chitty	ja	41,2	0,7	0,5	0,0
v1080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	ja	48,7	1,4	0,5	0,0
v1090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	ja/mit Abweichung	56,9	1,6	0,6	0,0

Temperaturen am Fenster unten  [°C]	Temperaturen am Fenster mitte & oben  [°C]	Gasgeschwindigkeiten an Fenstermitte  [m/s]
18,5	38,2	1,5
84,6	50,6	1,2
75,2	120,6	1,8
21,4	46,8	1,3
89,1	46,2	1,2
89,1	46,2	1,2
84,1	59,5	1,0
19,5	40,5	1,4
21,6	36,9	1,6

Dateinamen	Plumeformeln	Temperaturen Schacht 1 [°C]	Temperaturen Schacht 3 [°C]	Strömung Schacht 1 [m/s]	Strömung Schacht 3 [m/s]	O <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]
v1010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	8,8	18,6	0,9	0,5	0,5
v1020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	9,5	19,3	1,0	0,5	0,4
v1030	Thomas und Hinkley	7,8	19,3	1,1	0,5	0,5
v1040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	10,5	21,3	0,9	0,5	0,4
v1050	Heskestad	9,1	18,1	0,9	0,5	0,5
v1060	Cetegen	9,1	18,1	0,9	0,5	0,5
v1070	Cox/ Chitty	9,0	22,1	1,0	0,5	0,5
v1080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	8,8	19,0	0,9	0,5	0,5
v1090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	9,4	20,3	0,9	0,5	0,4

CO <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]	CO im Schacht 1 [Vol %]	Bemerkungen
0,2	0,0	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,3	0,0	
0,2	0,0	Keine geeignete Parameter für ceiling yet
0,2	0,0	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,2	0,0	z. T. größere Abweichungen wie v1010
0,2	0,0	Abbruch bei MRFC-Berechnung
0,2	0,0	große Abweichungen T Fenster
0,2	0,0	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,2	0,0	

Nach der Auswertung der mit den Plumeformeln errechneten Werten, zeigen 4 Plumeformeln für den Vergleich gute Übereinstimmungen.

- Mc Caffery
- Zukoski ohne virtuellen Ursprung/ Tanaka
- Zukoski mit virtuellem Ursprung (bringt die besten Übereinstimmungen)
- Zukoski mit virtuellem Ursprung/ Thomas, Hinkley

Bei der Auswertung der Plumeformeln wurde der maximale Wert für die gemittelte Abweichung weggelassen, um einzelne, eventuell sehr große Abweichungen nicht in den Vergleich mit einzubeziehen und somit zu verfälschen. Da zum Teil die Versuchsberichte sogar von den experimentellen Daten abweichen soll mit dem Streichen des Maximalwertes die in der Anfangsphase vorhandenen Ungenauigkeiten nicht erfasst werden. Für die Darstellung der wichtigen Diagramme wurde V1080 (Plumeformel Zukoski mit virt. Ursprung) gewählt.

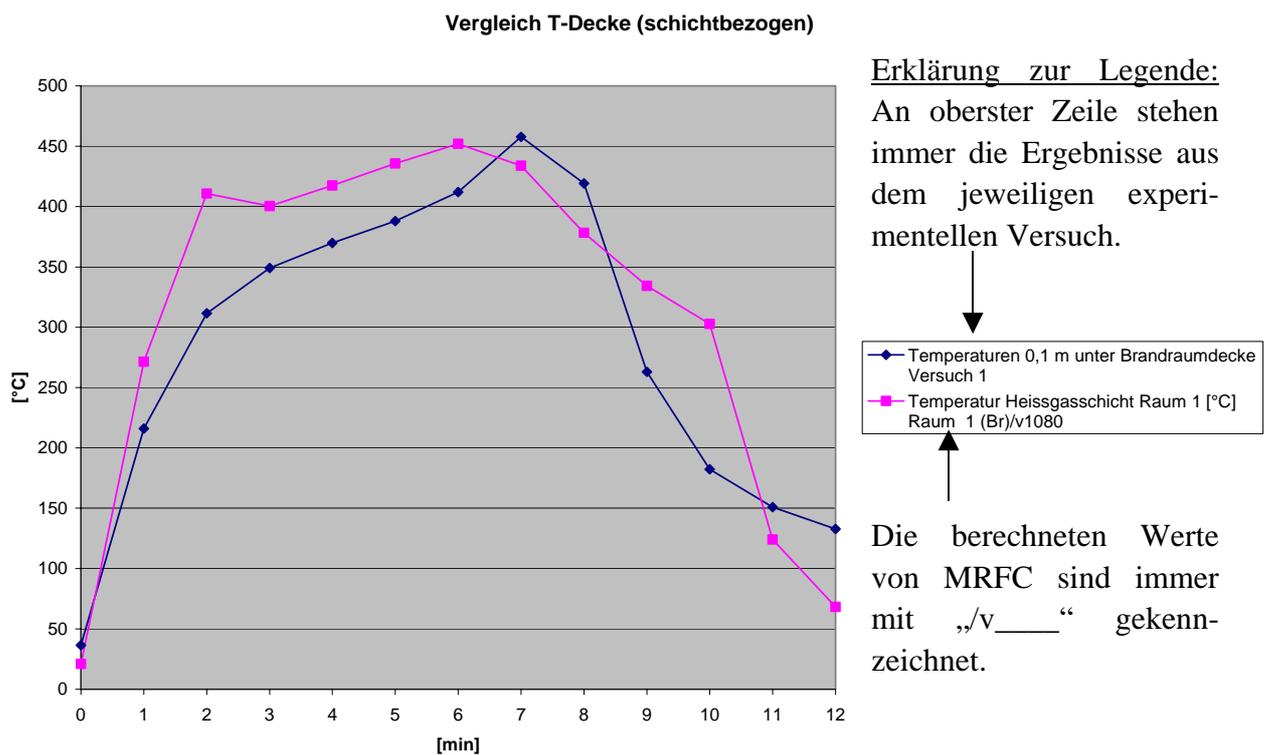


Abbildung 5.9 Vergleich Temperatur an der Brandraumdecke

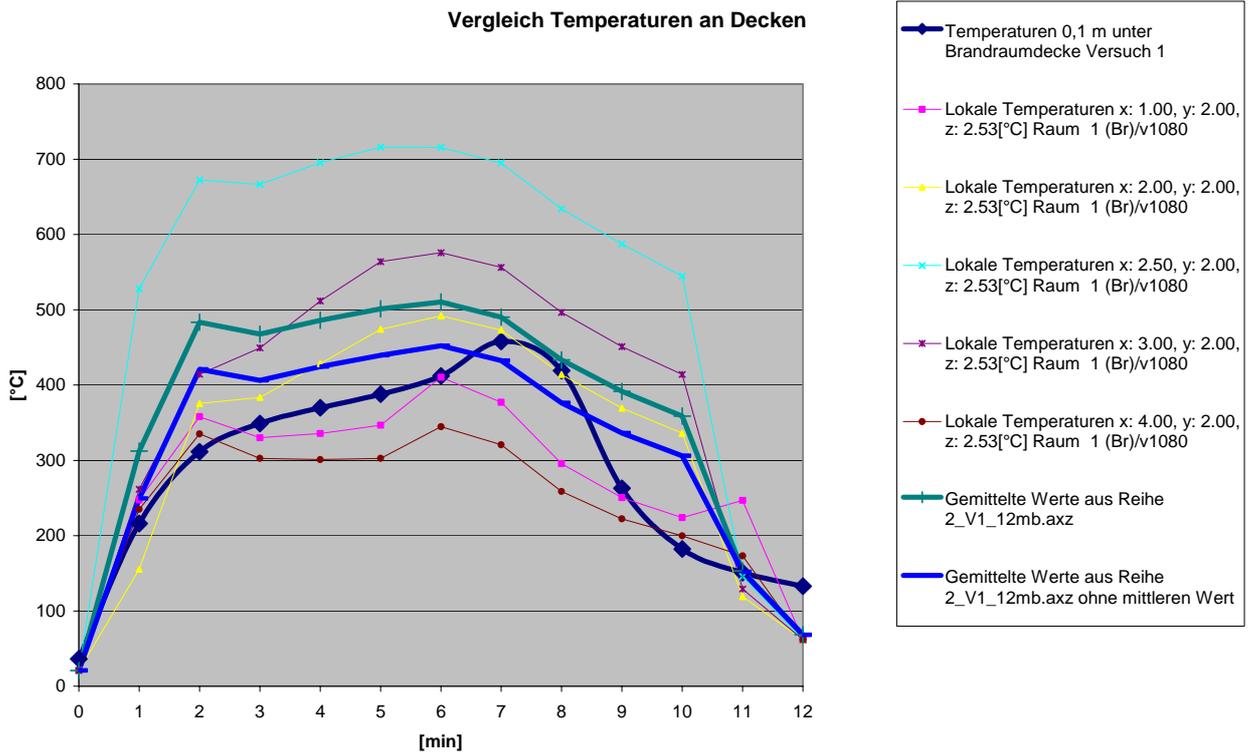


Abbildung 5.10 Vergleich lokale Temperaturen an der Brandraumdecke

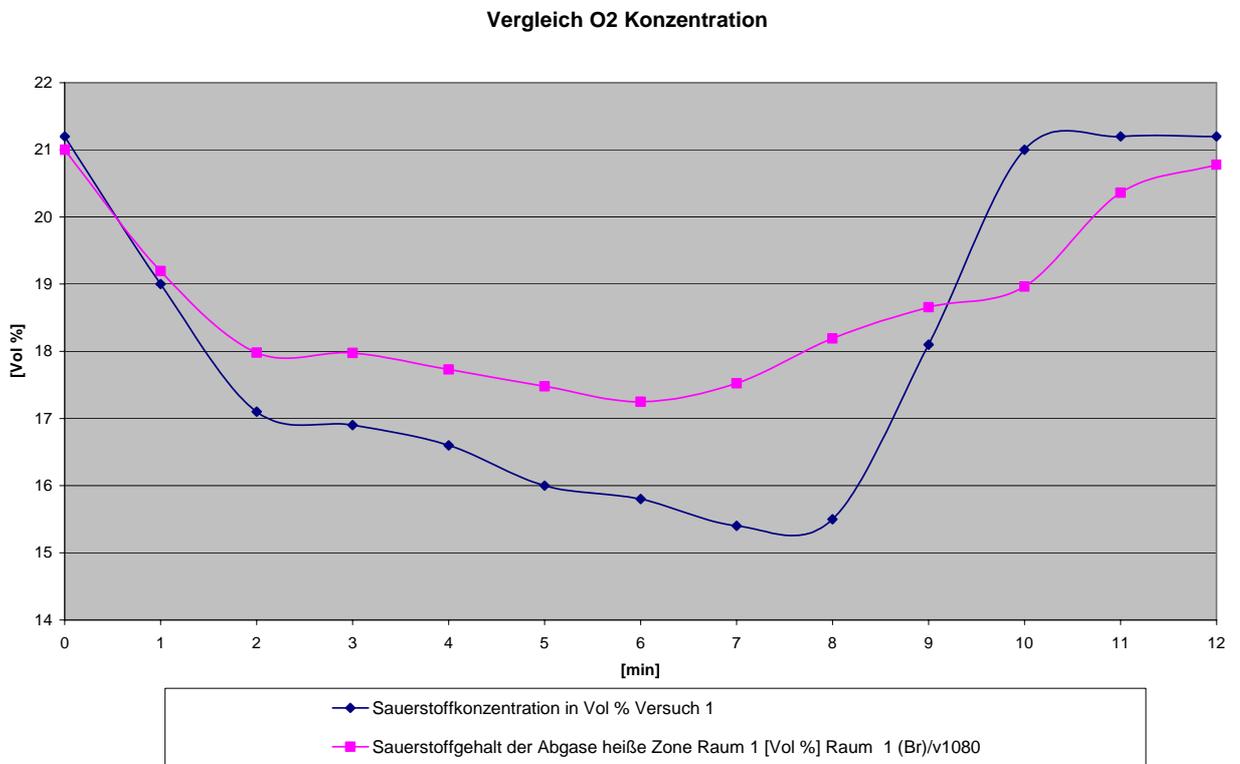


Abbildung 5.11 Vergleich Sauerstoffkonzentration

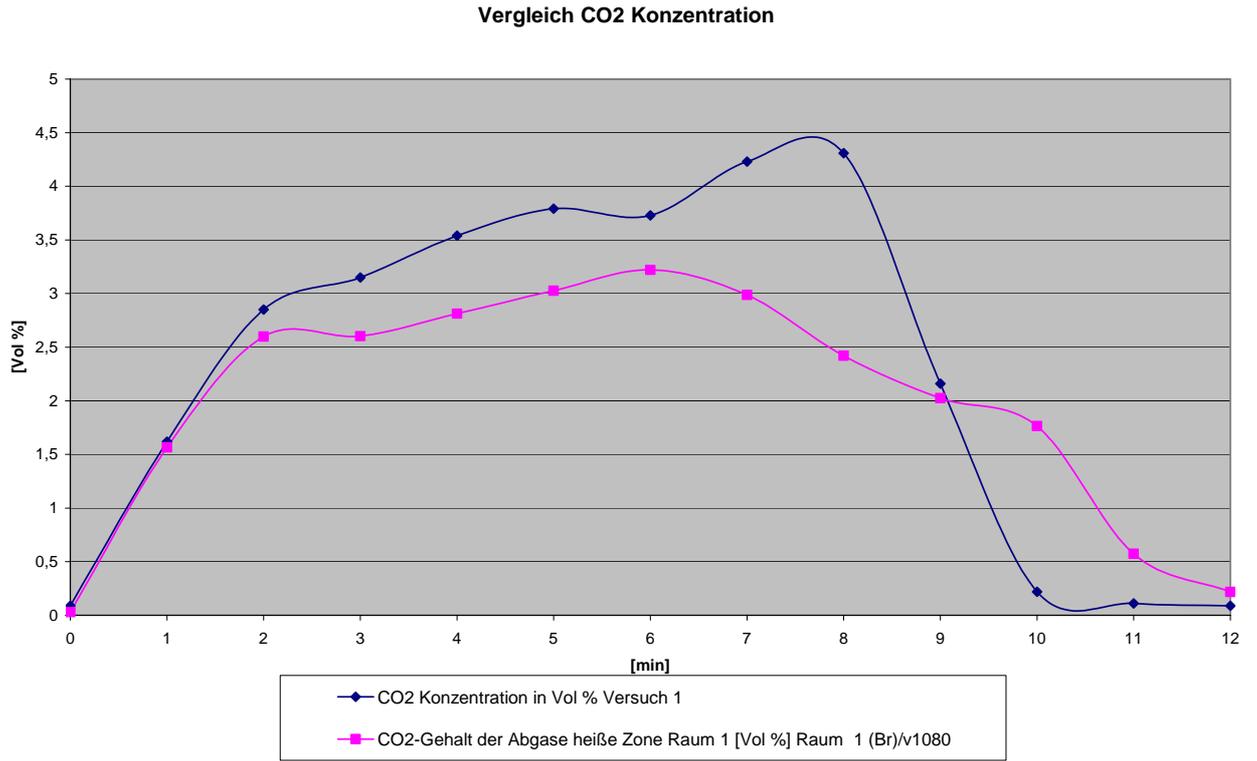


Abbildung 5.12 CO<sub>2</sub> Konzentration

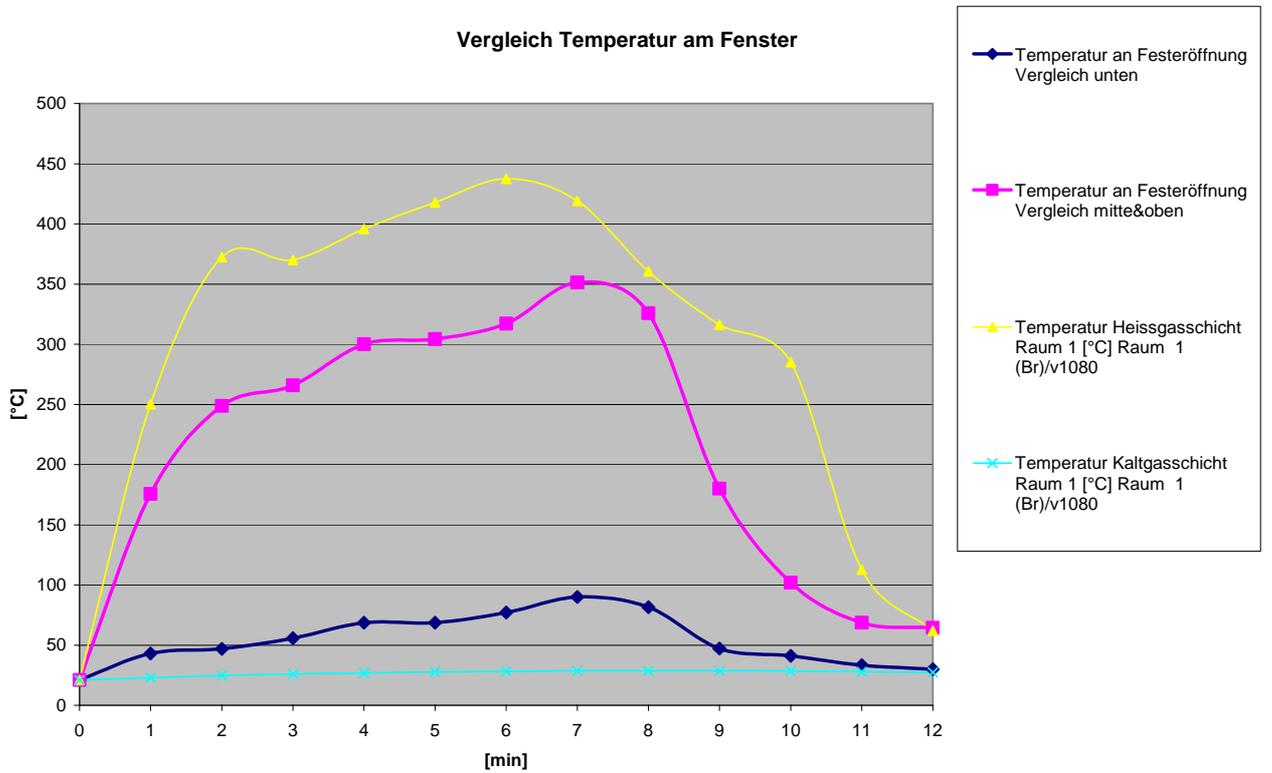


Abbildung 5.13 Vergleich Temperatur am Fenster

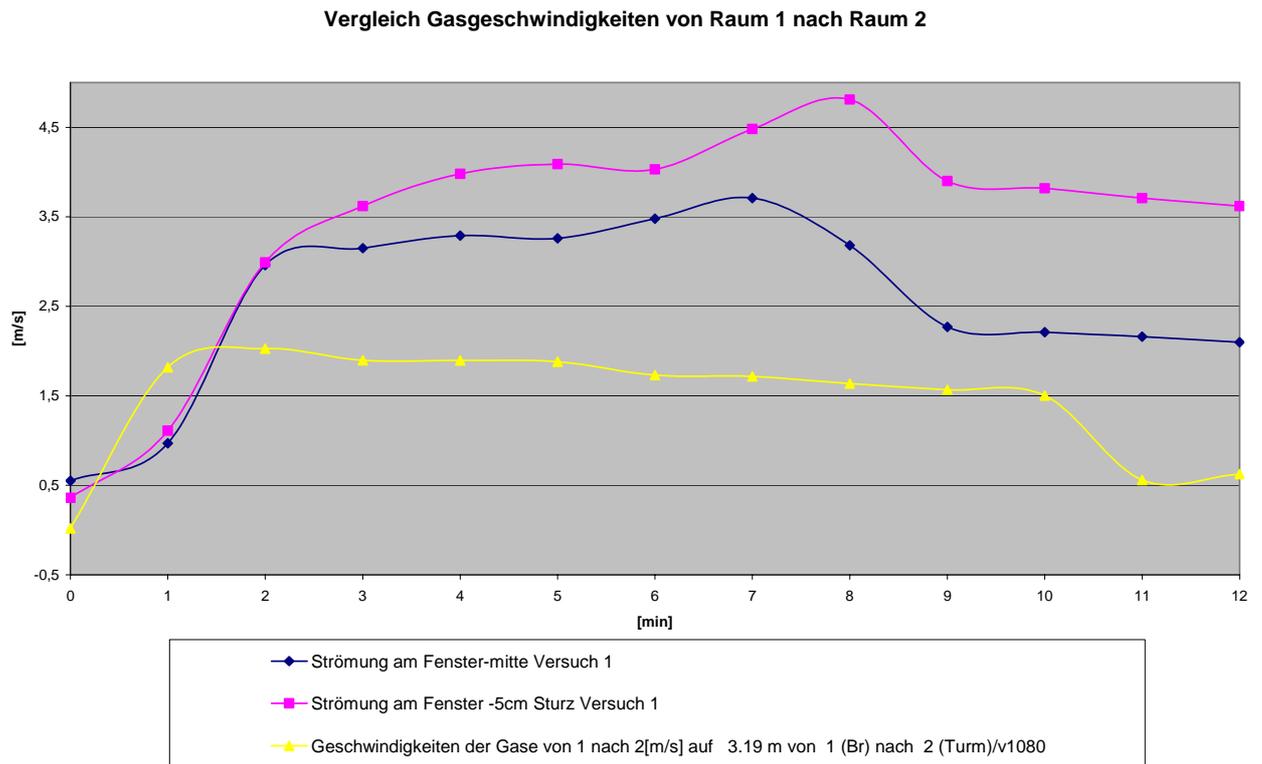


Abbildung 5.14 Vergleich der Gasgeschwindigkeiten von Raum 1 nach Raum 2

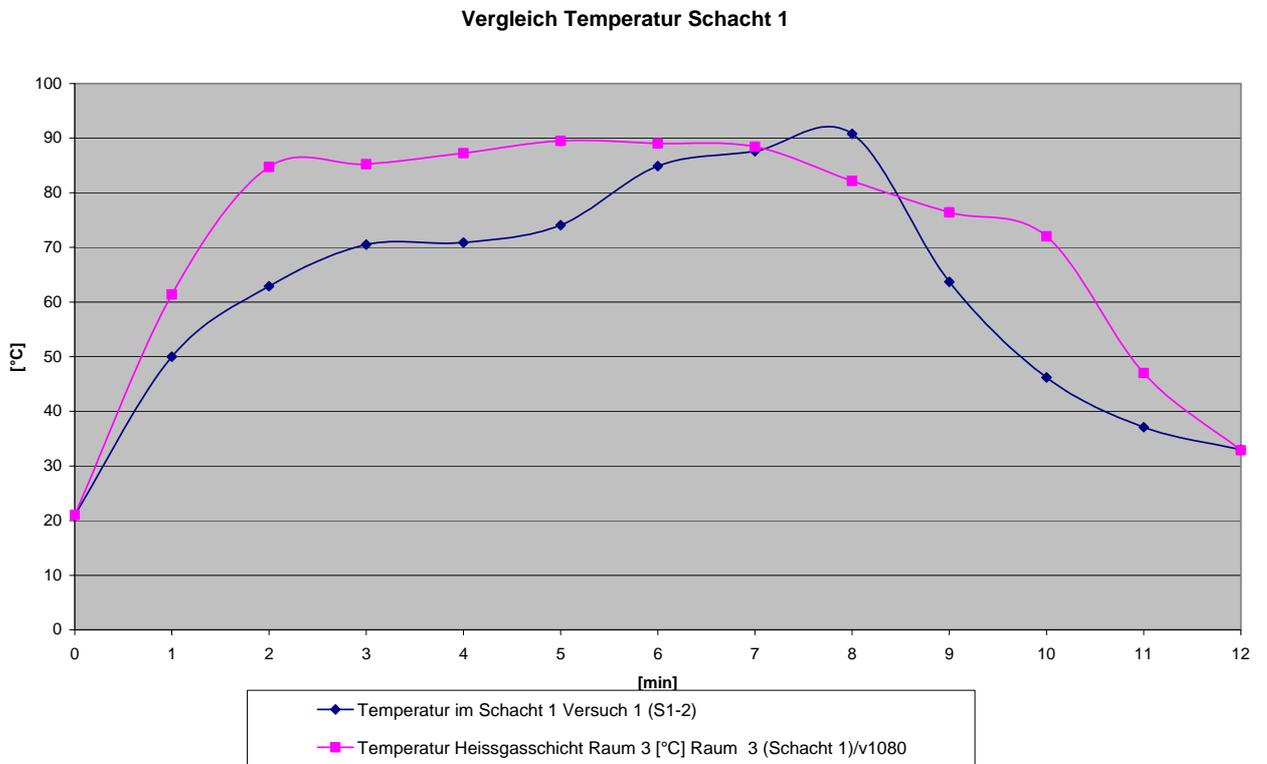


Abbildung 5.15 Vergleich Temperatur Schacht 1

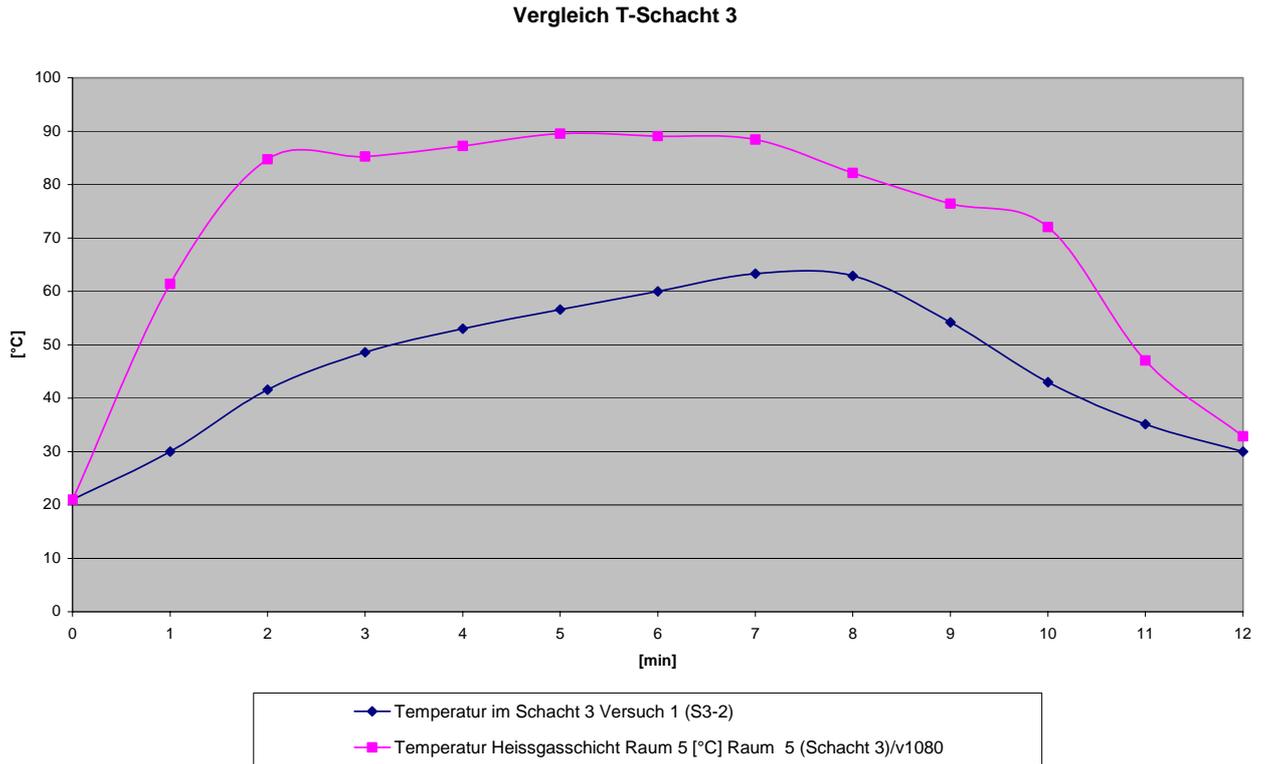


Abbildung 5.16 Vergleich Temperatur Schacht 3

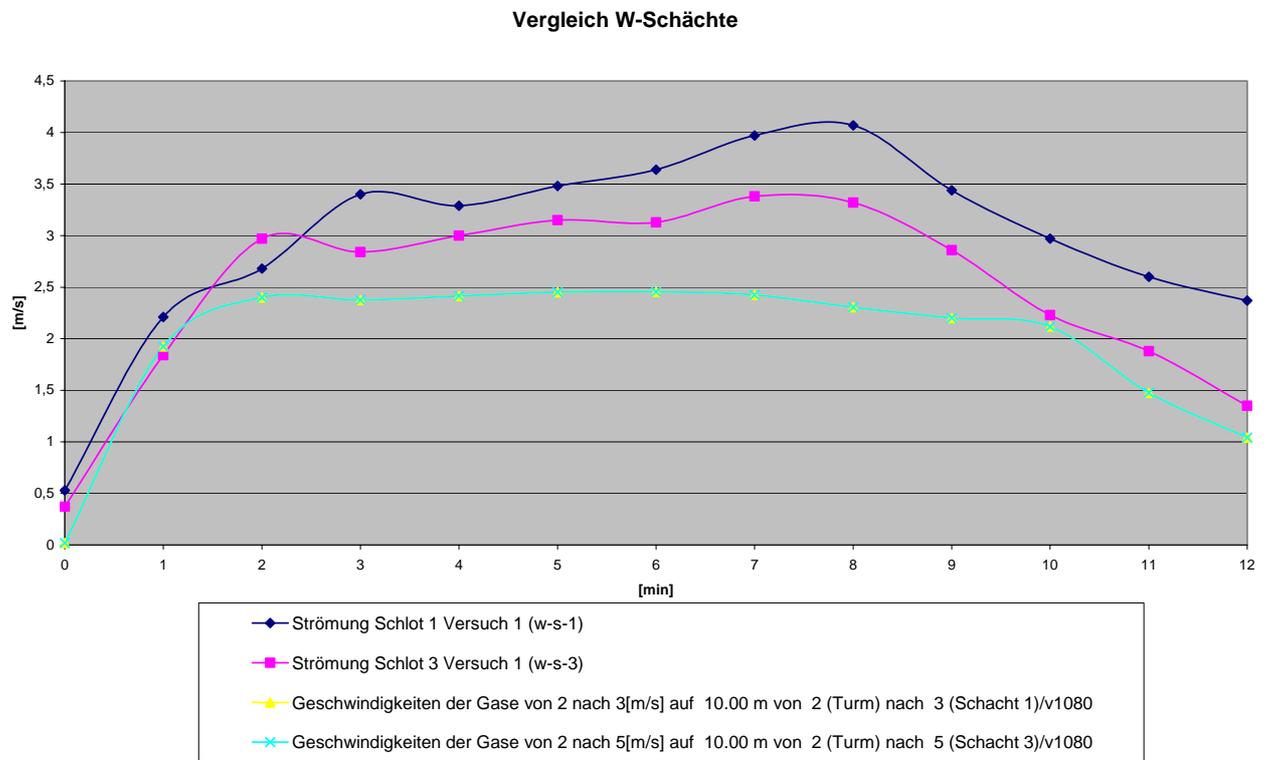


Abbildung 5.17 Vergleich Gasgeschwindigkeiten in den Schächten

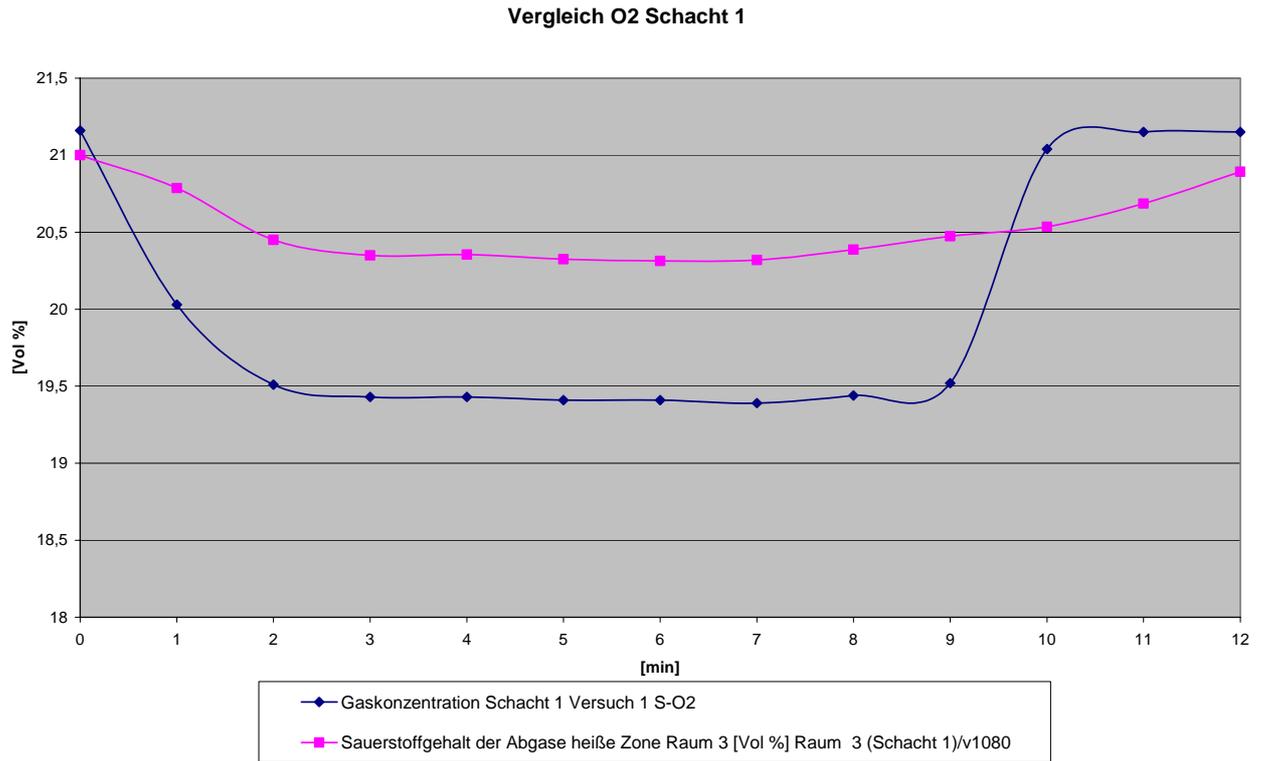
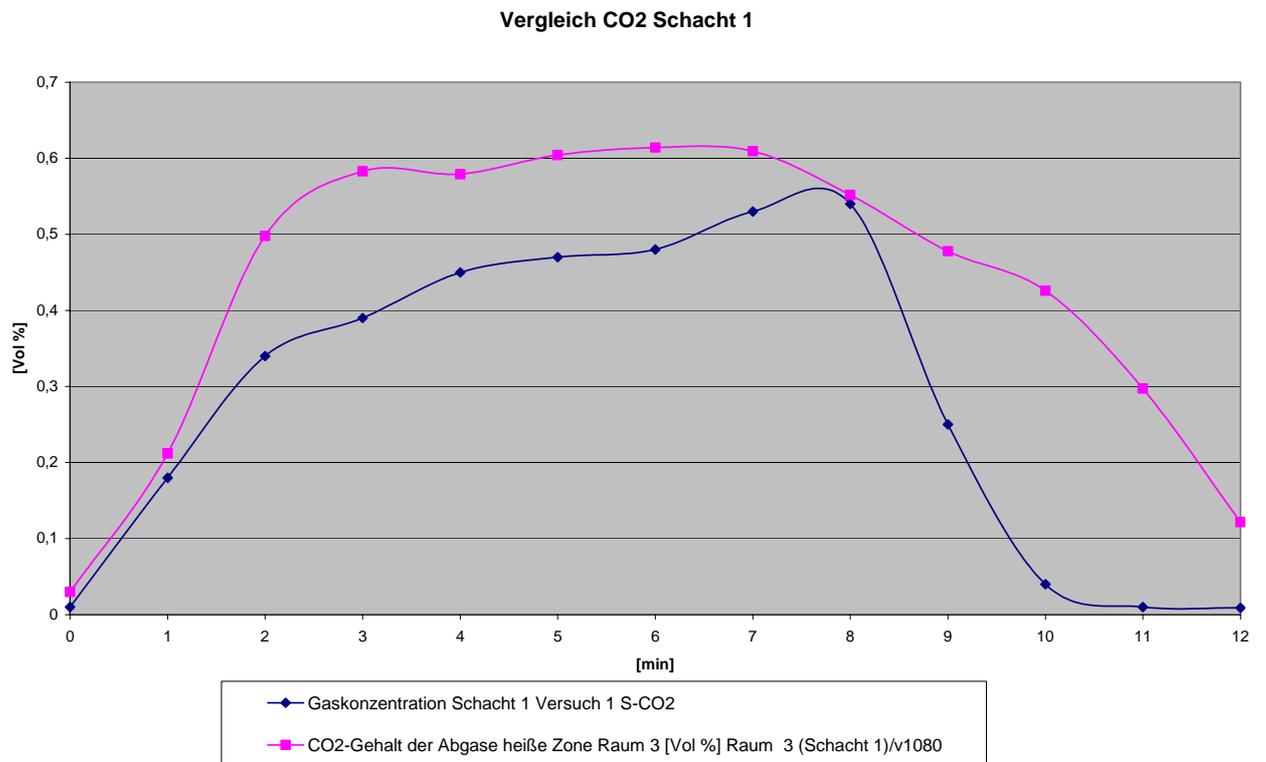


Abbildung 5.18 Sauerstoffkonzentration Schacht 1

Abbildung 5.19 CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1

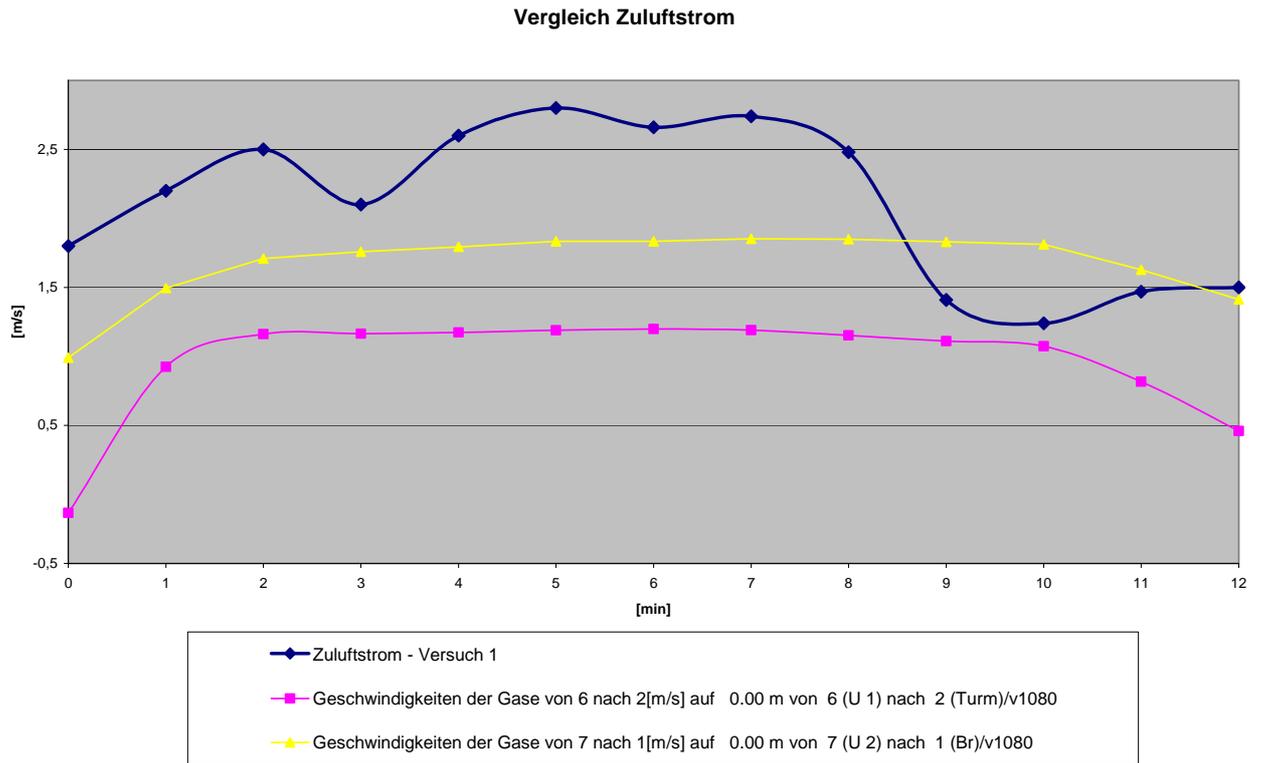


Abbildung 5.20 Vergleich Zuluftstrom

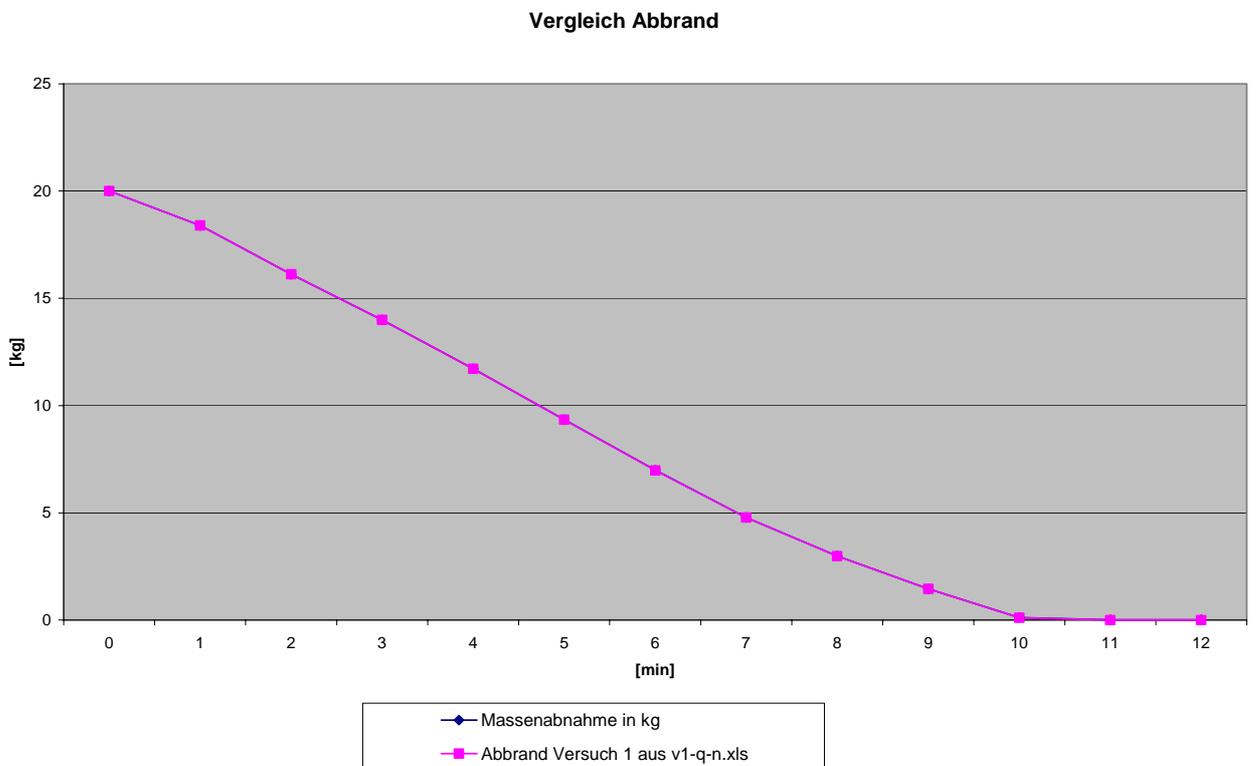


Abbildung 5.21 Vergleich Abbrand Hinweis zum Abbrand: Da sich beide Linien überlagern stimmt die Eingabe mit dem Versuch überein.

### 5.2.3 Versuch 2 - Ergebnisse des Vergleichs

Tabelle 5.11 Vergleich der Plumeformeln Versuch 2

Dateinamen	Plumeformeln	Abweichungen (ohne Max-Wert der Abweichung)				
		Lokale Messerte möglich  (es wird ggf. mit Schichtbezogenen Werte verglichen)	Temperaturen unter der Brandraumdecke  [°C]	O <sub>2</sub> im Brandraum  [Vol %]	CO <sub>2</sub> im Brandraum  [Vol %]	CO im Brandraum  [Vol %]
v2011	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	nein, Vollbrand	48,9	3,3	2,0	0,7
v2020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	ja	56,0	2,9	1,9	0,6
v2031	Thomas und Hinkley	nein, Vollbrand	49,3	3,1	2,0	0,6
v2041	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	nein, Vollbrand	49,5	3,1	2,0	0,6
v2051	Heskestad	nein, Vollbrand	49,2	3,3	2,0	0,8
v2061	Cetegen	nein, Vollbrand	625,0	5,1	8,9	0,6
v2071	Cox/ Chitty	nein, Vollbrand	49,3	3,1	2,0	0,6
v2080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	ja	335,8	3,6	3,1	0,6
v2081	Zukoski mit virtuellem Ursprung	nein, Vollbrand	48,4	3,3	2,1	0,6
v2091	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	nein, Vollbrand	49,3	3,1	2,0	0,6

Temperaturen am Fenster unten  [°C]	Temperaturen am Fenster mitte & oben  [°C]	Gasgeschwindigkeiten an Fenstermitte  [m/s]
315,4	117,5	1,5
117,9	133,0	1,4
314,6	117,2	1,4
313,9	116,9	1,4
315,2	117,2	1,5
324,3	543,7	4,6
314,6	117,2	1,4
283,2	173,3	2,7
283,2	173,3	1,5
314,6	117,2	1,4

Dateinamen	Plumeformeln	Temperaturen Schacht 1 [°C]	Temperaturen Schacht 3 [°C]	Strömung Schacht 1 [m/s]	Strömung Schacht 3 [m/s]	O <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]
v2011	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	40,4	25,1	1,1	1,0	1,4
v2020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	38,9	27,4	1,1	0,8	1,2
v2031	Thomas und Hinkley	39,5	27,8	1,2	0,9	1,3
v2041	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	40,3	28,0	1,1	0,9	1,4
v2051	Heskestad	39,9	21,1	0,9	0,9	1,4
v2061	Cetegen	133,4	87,4	4,0	3,7	15,6
v2071	Cox/ Chitty	39,5	27,8	1,2	0,9	1,3
v2080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	35,5	20,9	1,1	0,9	2,1
v2081	Zukoski mit virtuellem Ursprung	41,0	25,3	1,0	0,9	1,5
v2091	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	39,5	27,8	1,2	0,9	1,3

CO <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]	CO im Schacht 1 [Vol %]	Bemerkungen
0,4	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,4	0,1	Plumeformel mit direktem Vergleich
0,4	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,5	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,4	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
1,1	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,4	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,3	0,1	keine geeign. Parameter für ceiling jet
0,5	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.
0,4	0,1	Tendenzen der Kurven erkennbar.

Nach der Auswertung der mit den Plumeformeln errechneten Werten, sind die Plumeformeln für den Vergleich mit den experimentellen Versuchsergebnissen ungeeignet. Nur V2020 lässt eine Berechnung des Brandraumes als nicht im Vollbrand<sup>11</sup> stehend zu. Mit den anderen Plumeformeln bricht das Programm ab. Es können die Ergebnisse somit nur global verglichen werden. V2020 gibt einen Anhalt über den Verlauf der Berechnungen.

Beim hier niedrigen Brandraum müsste die Brandstoffmenge herabgesetzt werden, um einen besseren Vergleich zu erhalten, da dann nicht mit dem Vollbrandmodell gerechnet werden muss. Eigentlich sollte MRFC automatisch in Vollbrand-Modus wechseln, was jedoch nicht erfolgt. Die Flammenbildung ist so enorm, dass real die Flammen aus dem Fenster schlagen. Ein Zonenmodell kann dies nicht berücksichtigen.

Mit V2080 wird gezeigt, dass trotz einer Fehlermeldung „keine geeignete Parameter für Ceiling Jet“, eine Berechnung funktioniert.

Für die Darstellung der wichtigen Diagramme wurde V2080 gewählt.

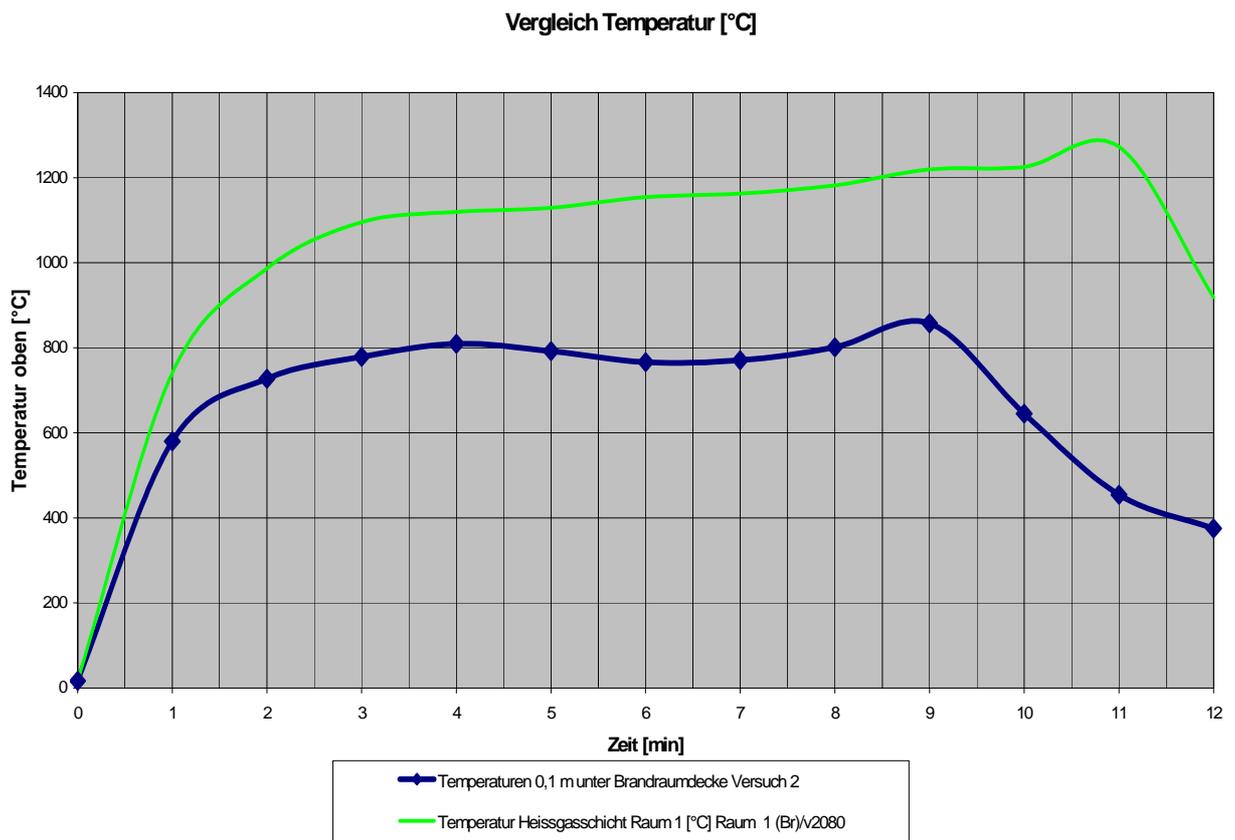


Abbildung 5.22 Vergleich Temperatur unter Brandraumdecke

<sup>11</sup> Vollbrand = keine Bildung der Schichten möglich, d. h. es wird nur mit einer Heißgasschicht gerechnet.

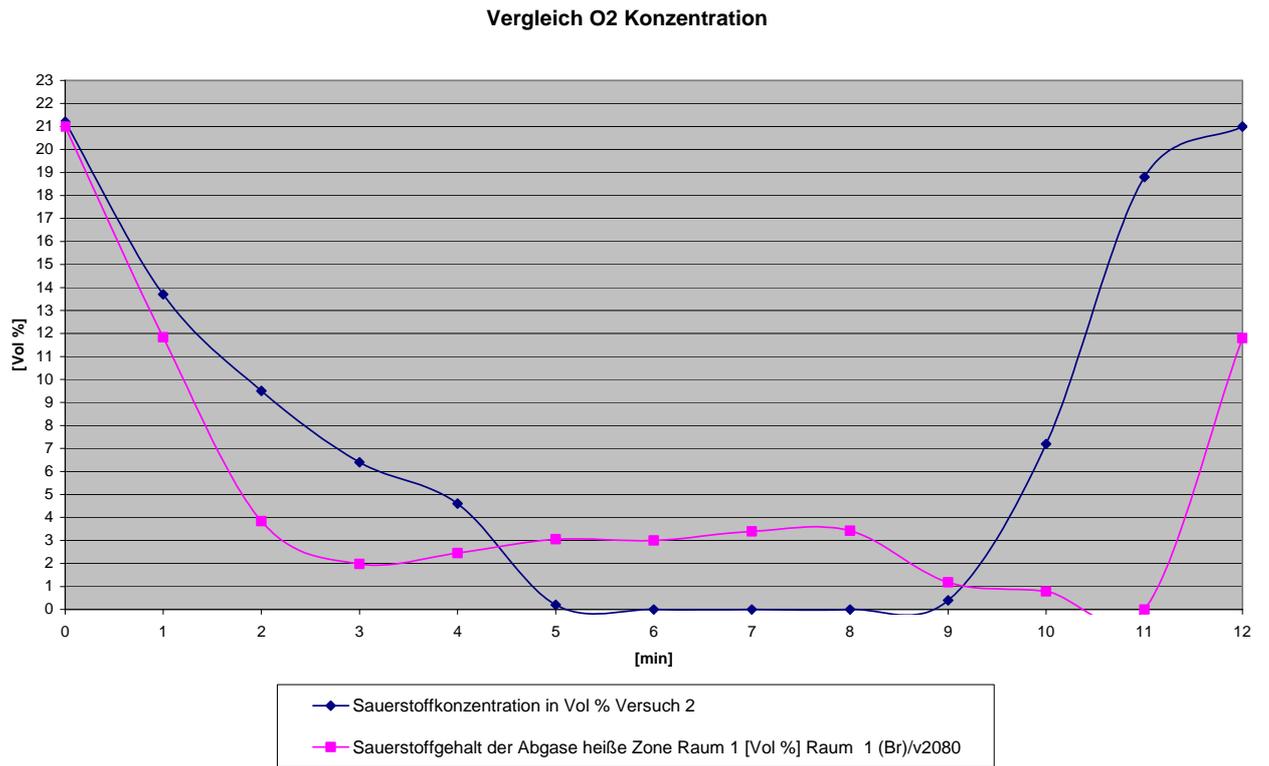
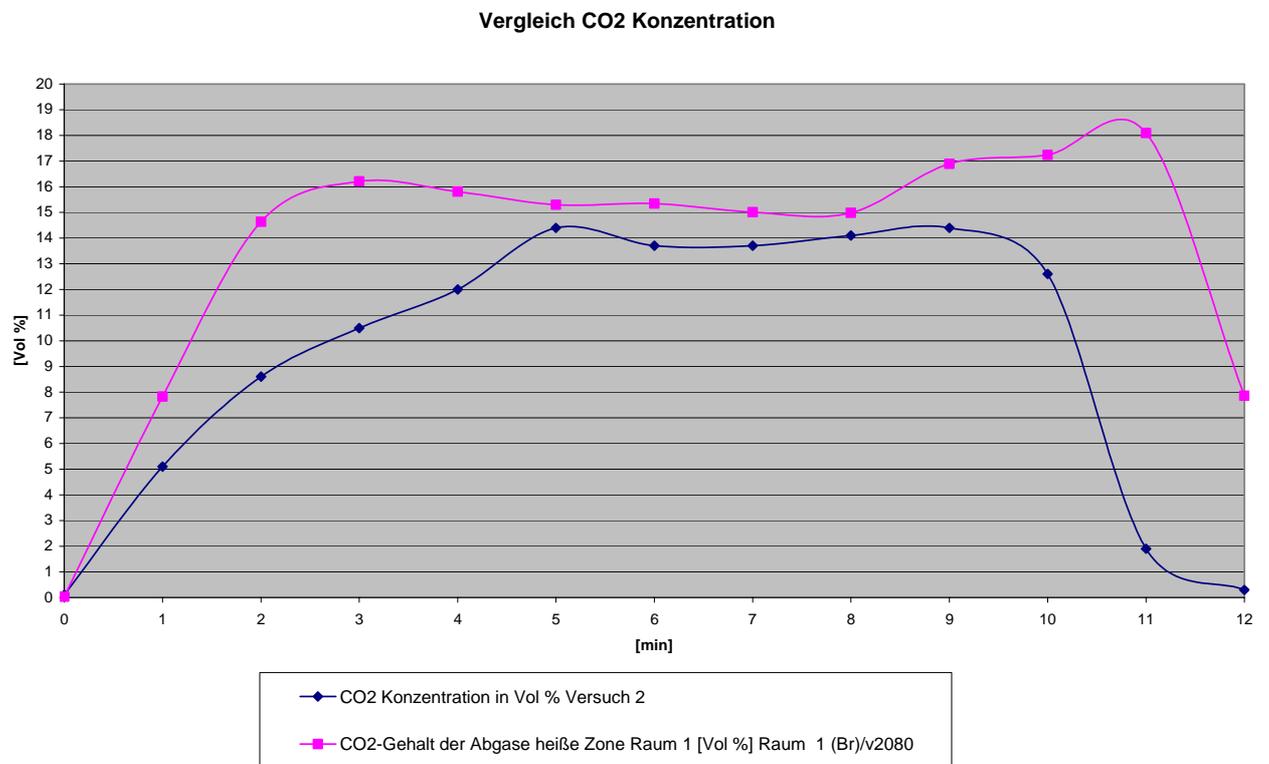


Abbildung 5.23 Vergleich Sauerstoffkonzentration

Abbildung 5.24 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration

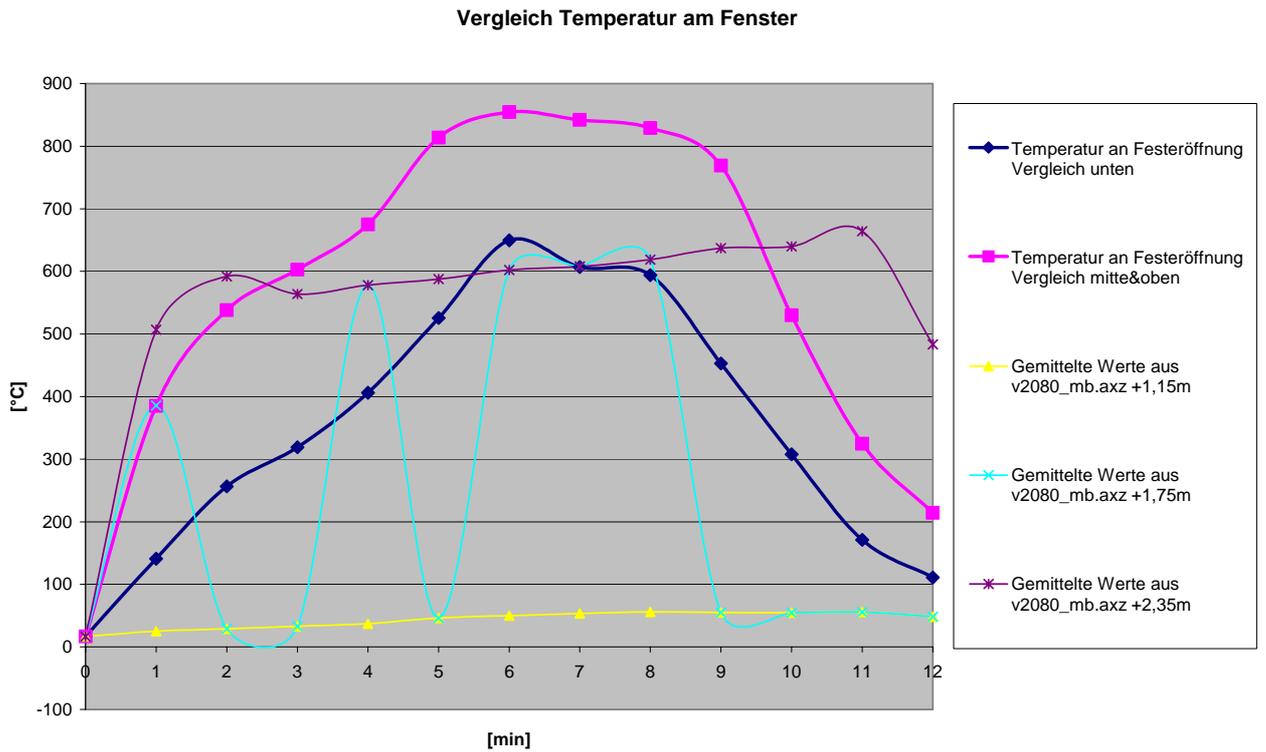


Abbildung 5.25 Vergleich Temperatur am Fenster

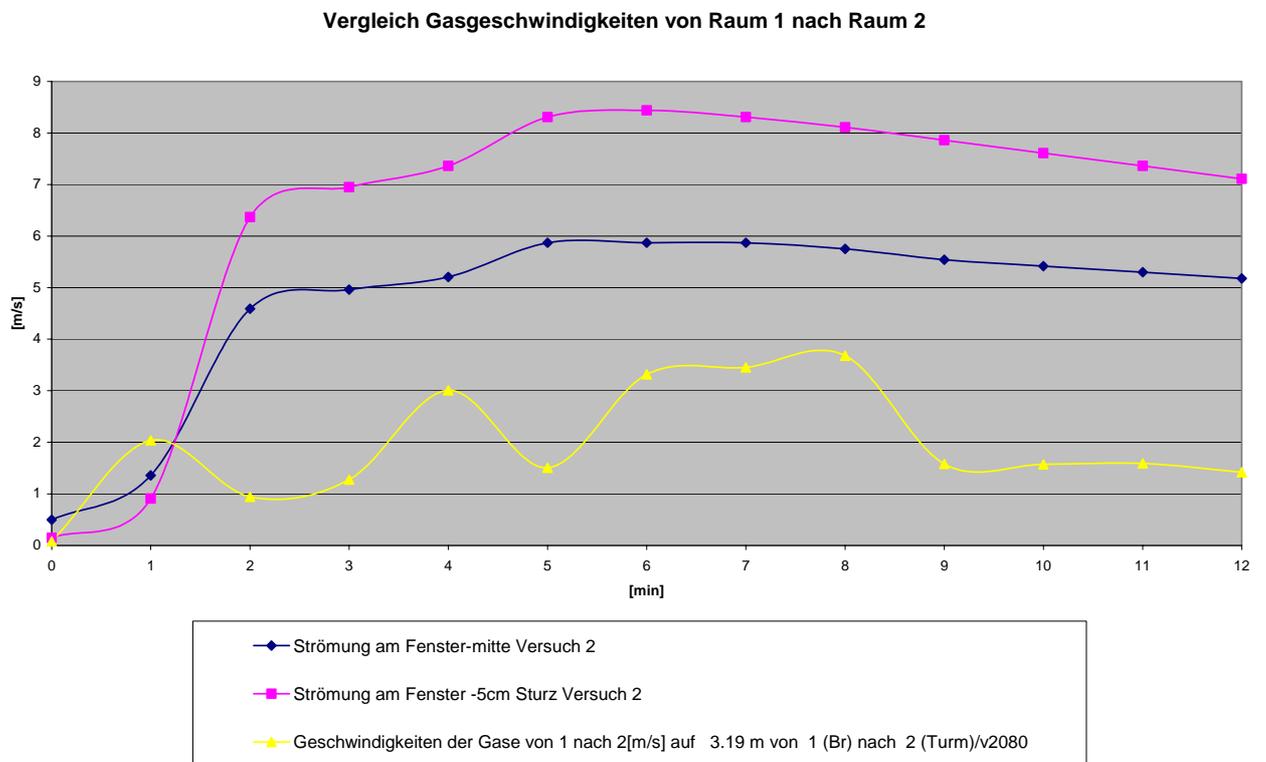


Abbildung 5.26 Vergleich der Gasgeschwindigkeiten von Raum 1 nach Raum 2

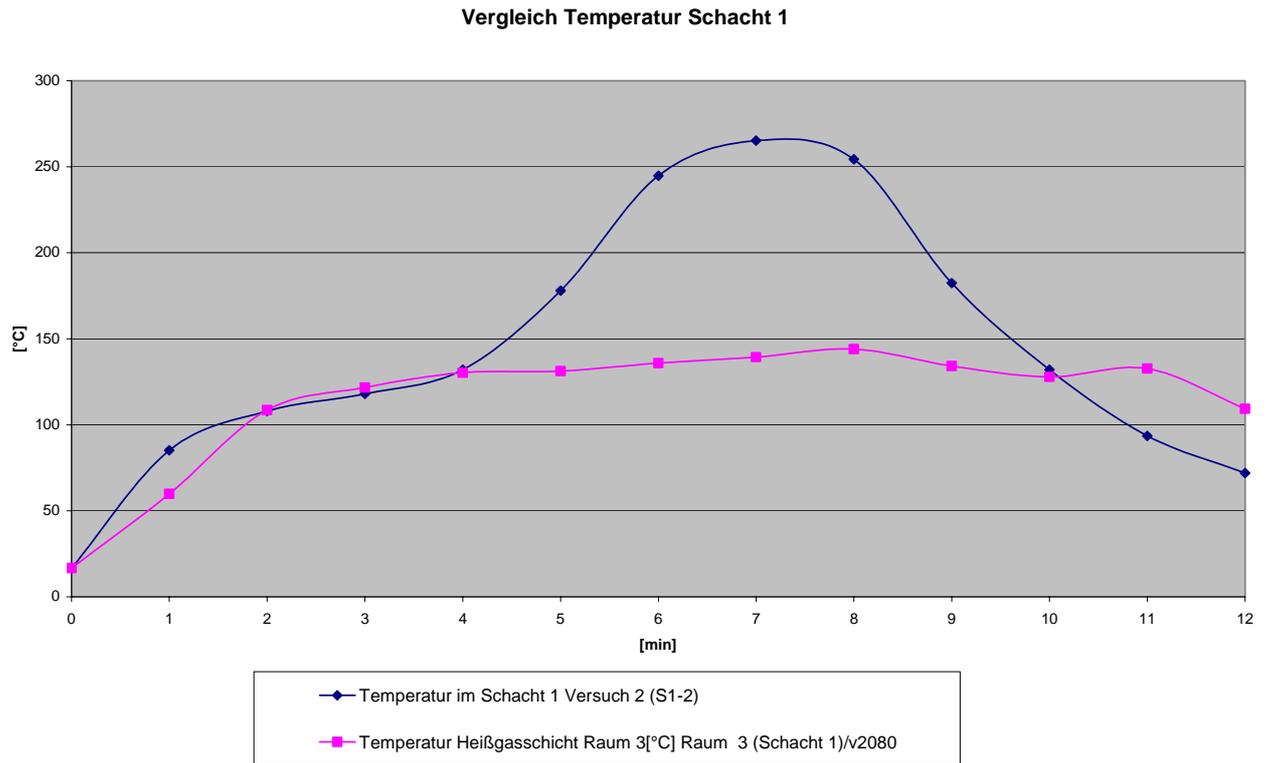


Abbildung 5.27 Vergleich Temperatur Schacht 1

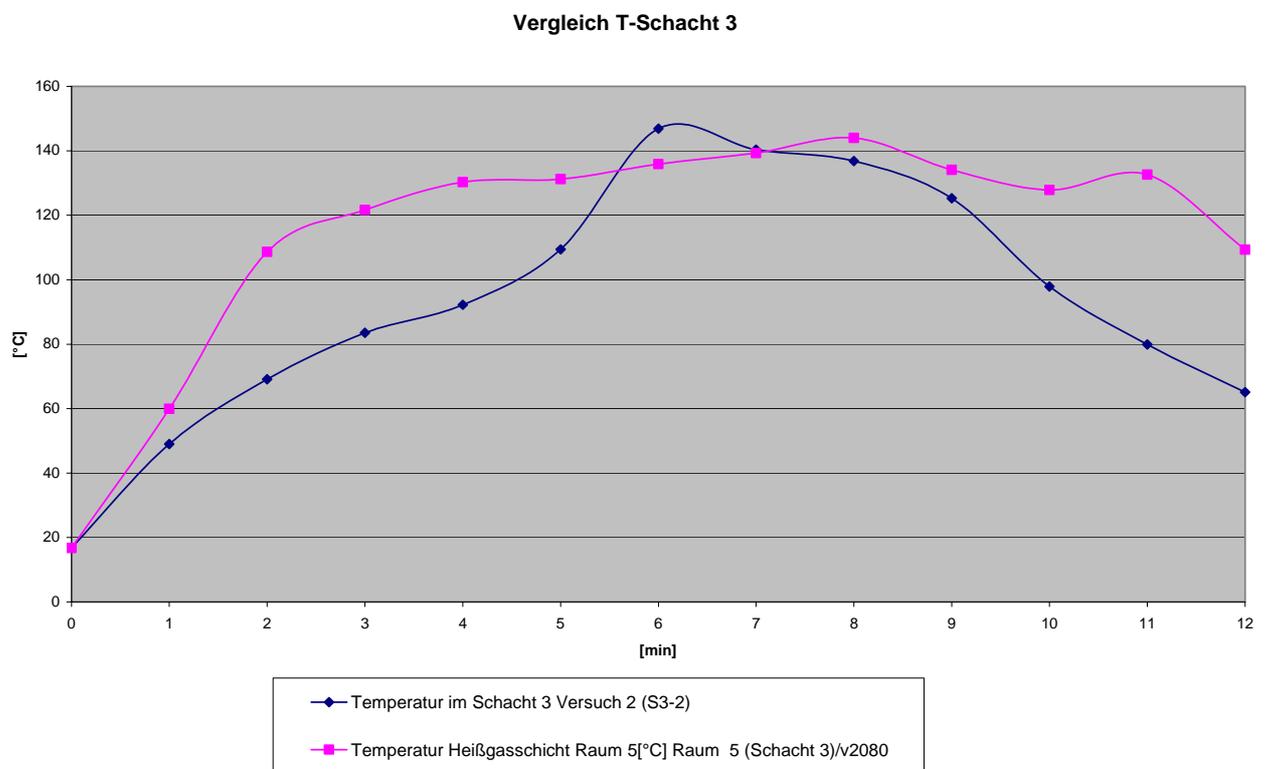


Abbildung 5.28 Vergleich Temperatur Schacht 3



Abbildung 5.29 Vergleich Gasgeschwindigkeiten in den Schächten

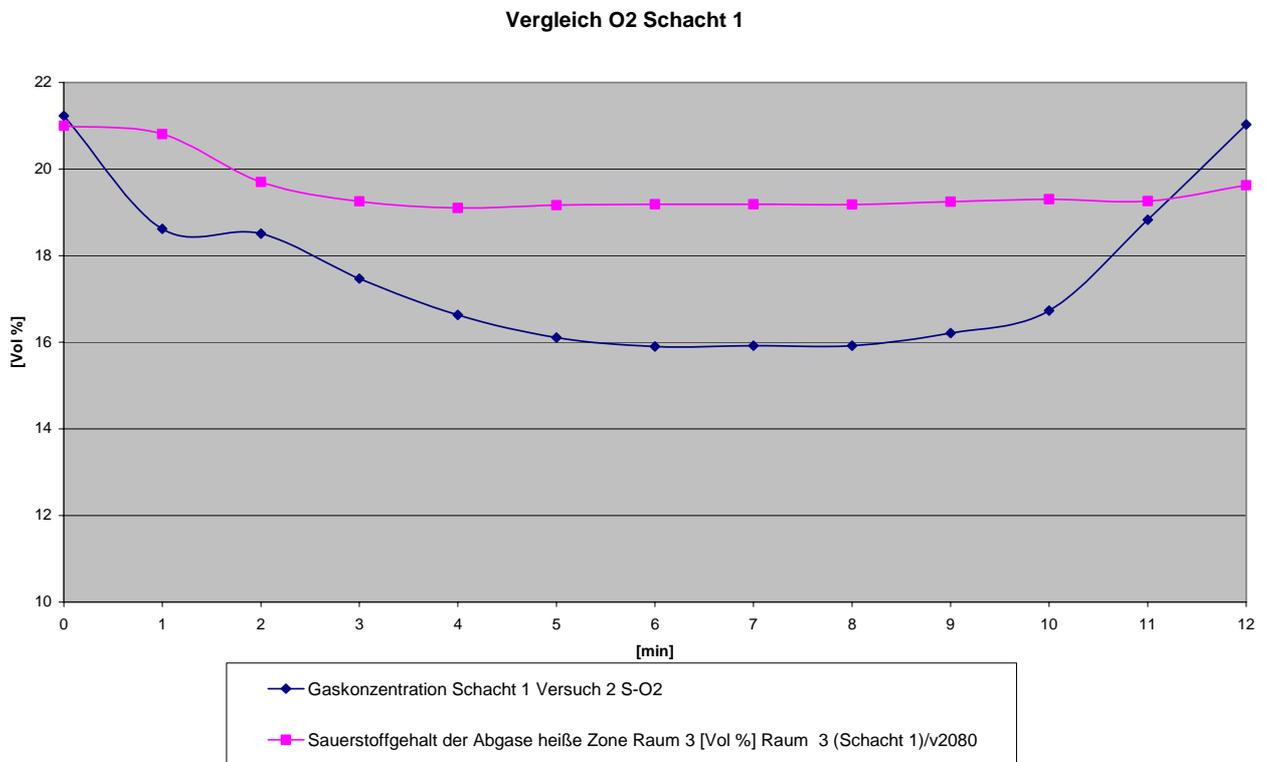


Abbildung 5.30 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1

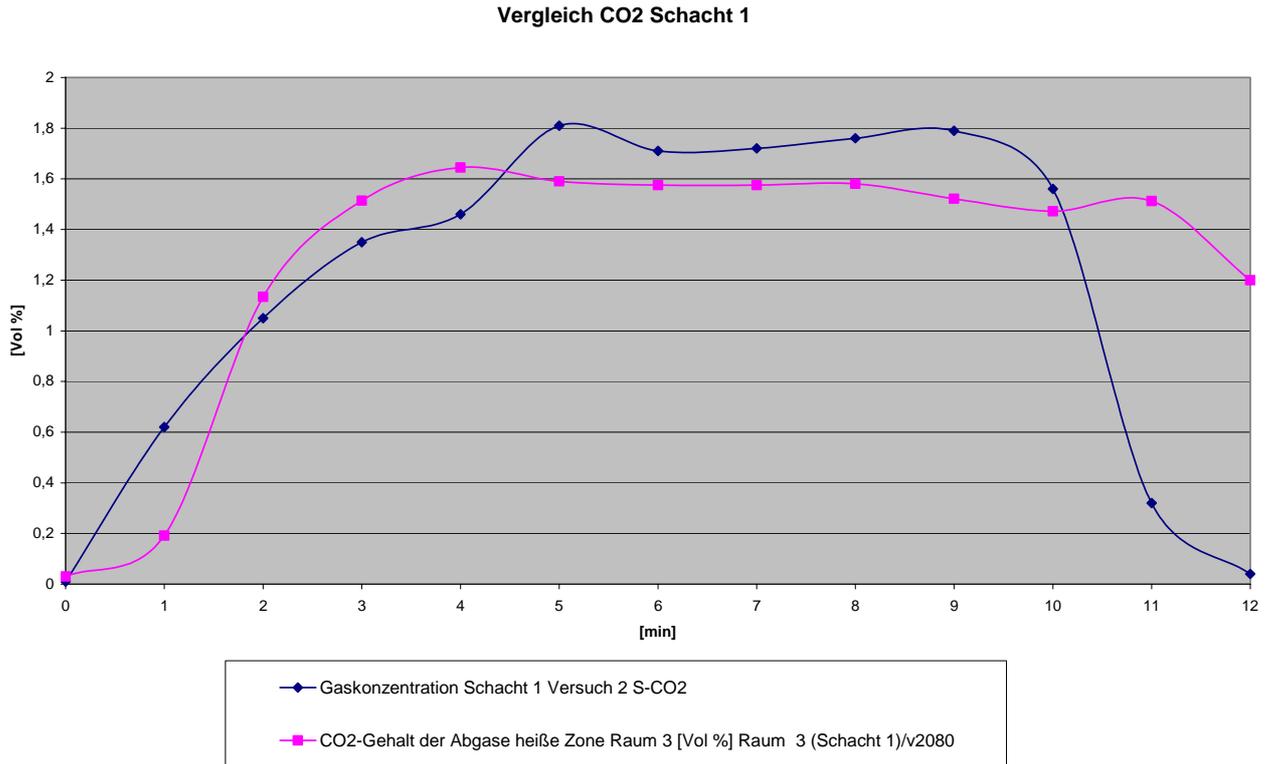


Abbildung 5.31 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1

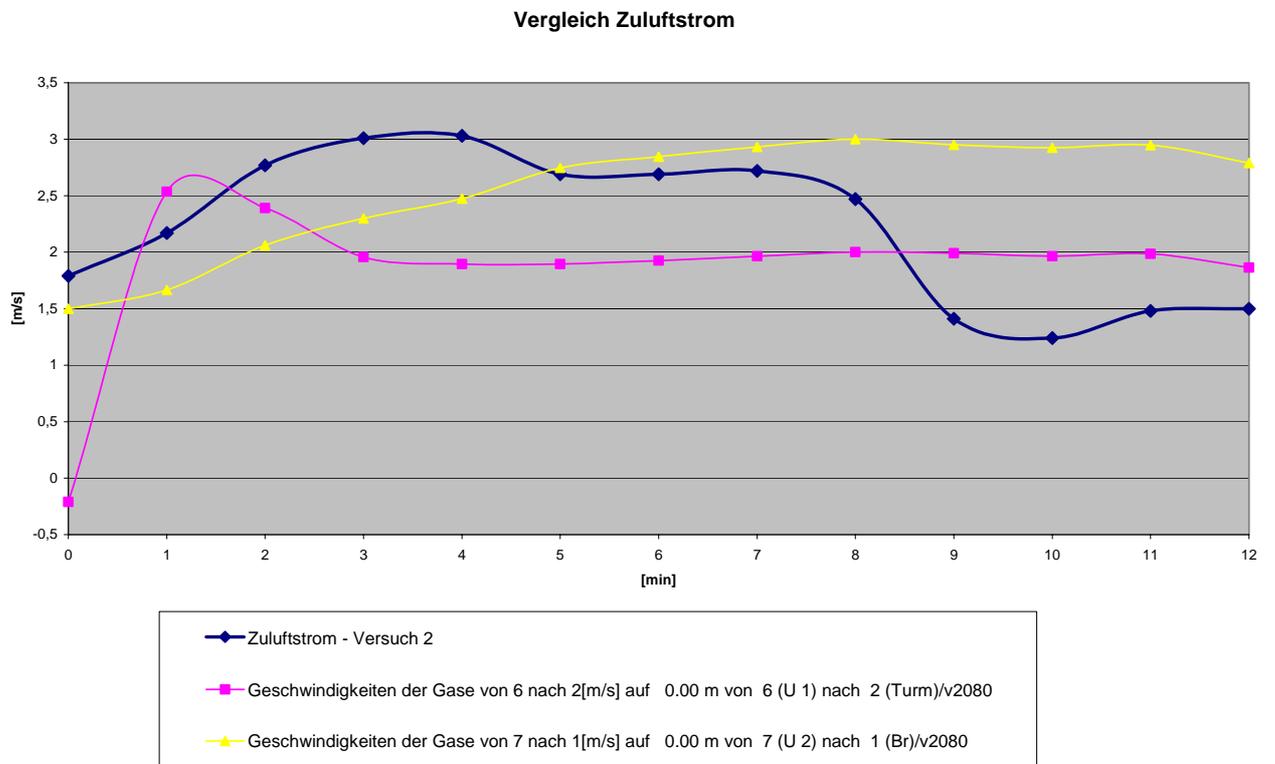


Abbildung 5.32 Vergleich Zuluftstrom

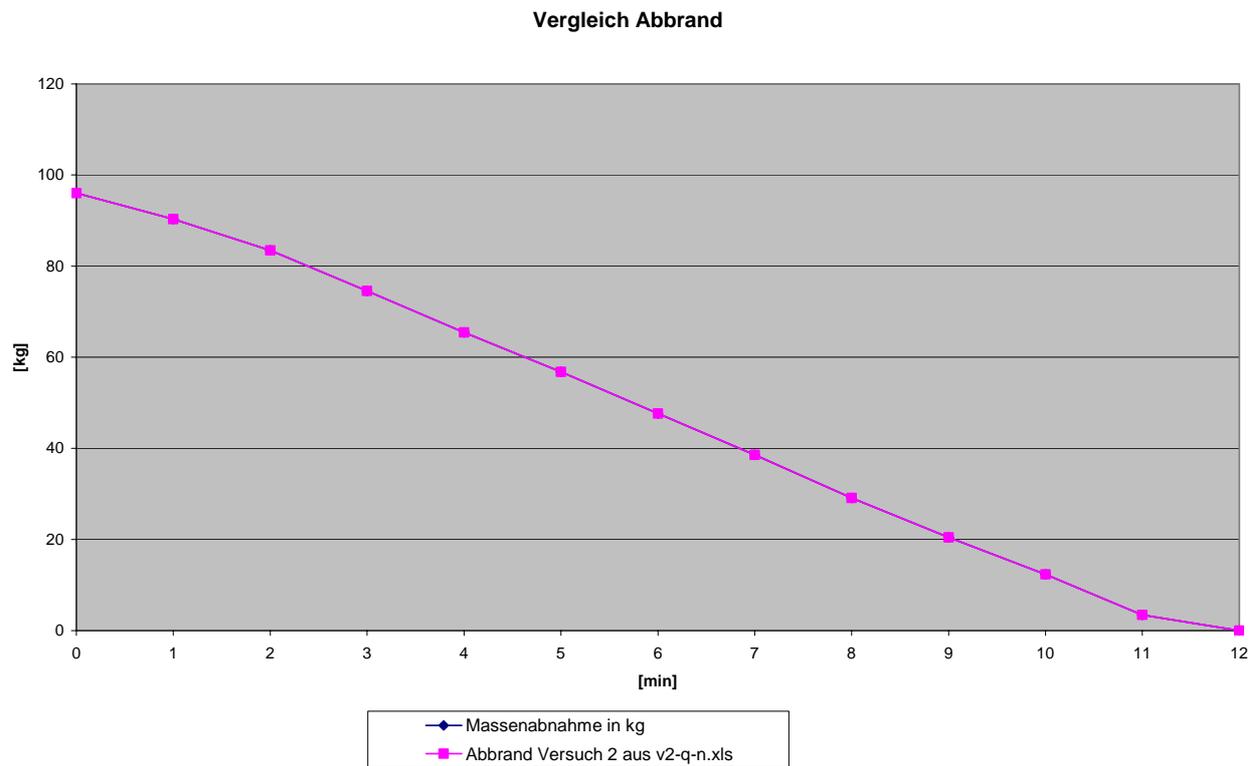


Abbildung 5.33 Vergleich Abbrand

Dass das Programm instabil ist, erkennt man bei Abbildung 5.25 *Vergleich Temperatur am Fenster* und auch bei Abbildung 5.26 *Vergleich der Gasgeschwindigkeiten von Raum 1 nach Raum 2* sehr gut. Diese beiden Diagramme können somit für eine Vergleichsberechnung nicht herangezogen werden.

### 5.2.4 Versuch 3 - Ergebnisse des Vergleichs

Tabelle 5.12 Vergleich der Plumeformeln Versuch 3

Dateinamen	Plumeformeln	Lokale Messerte möglich  (es wird ggf. mit Schichtbezogenen Werte verglichen)	Abweichungen (ohne Max-Wert der Abweichung)			
			T Schacht 1 (Mittel S1-1–S1-6)  [°C]	T Schacht 3 (Mittel S3-1– S3-6)  [°C]	Strömung Schacht 1  [m/s]	Strömung Schacht 3  [m/s]
v3010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	ja	20,1	15,1	0,3	0,3
v3020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	ja	19,7	14,6	0,3	0,4
v3030	Thomas und Hinkley	ja	28,3	23,7	0,6	0,6
v3040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	ja	22,2	17,2	0,3	0,4
v3050	Heskestad	ja	22,1	17,2	0,4	0,4
v3060	Cetegen	ja	51,0	53,8	3,1	3,2
v3070	Cox/ Chitty	ja	16,1	11,0	0,3	0,3
v3080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	ja	21,6	16,6	0,4	0,4
v3090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	ja	22,2	17,1	0,3	0,4

Messbaum C1 h=3,0m  [°C]	Messbaum C2 h=4,0m  [°C]	Messbaum C4 h=6,0m  [°C]
276,5	158,7	90,4
276,5	158,6	89,7
276,1	158,3	65,3
276,6	158,7	80,4
276,5	158,7	80,6
42,7	47,8	50,4
277,7	182,1	104,6
276,6	158,7	79,3
276,6	158,8	80,3

Dateinamen	Plumeformeln	Messbaum C5 h=7,0m [°C]	Messbaum C7 h=9,0m [°C]	Messbaum C8 h=9,9m [°C]	O <sub>2</sub> im Schacht 1 [m/s]	CO <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]
v3010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	77,2	60,5	52,6	0,4	0,1
v3020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	76,6	59,9	51,9	0,4	0,1
v3030	Thomas und Hinkley	51,2	45,3	44,9	0,3	0,1
v3040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	70,7	57,7	50,6	0,4	0,1
v3050	Heskestad	70,9	57,9	50,8	0,4	0,1
v3060	Cetegen	50,8	51,1	52,6	18,3	0,3
v3070	Cox/ Chitty	85,5	62,7	53,5	0,4	0,1
v3080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	69,7	56,9	49,7	0,4	0,1
v3090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	70,5	57,6	50,6	0,3	0,1

CO im Schacht 1 [Vol %]	T C <sub>1</sub> mit Heißgas [°C]	Bemerkungen
0,0	20,9	
0,0	20,3	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	28,2	Schlechte Übereinstimmung
0,0	21,5	
0,0	22,0	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	50,4	Abbruch bei MRFC-Berechnung
0,0	18,3	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	21,3	
0,0	22,0	

Nach der Auswertung der mit den Plumeformeln errechneten Werten, sind die meisten Plumeformeln für diesen Vergleich geeignet. Außer den lokalen Temperaturmessstellen zeigen alle eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen.

- Mc Caffery, Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)
- Zukoski mit virtuellem Ursprung
- Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley

Aber auch Cox/ Chitty zeigt eine gute Übereinstimmung bei dem Vergleich der Heißgasschichten.

Für die Darstellung der wichtigen Diagramme wurde V3020 gewählt.

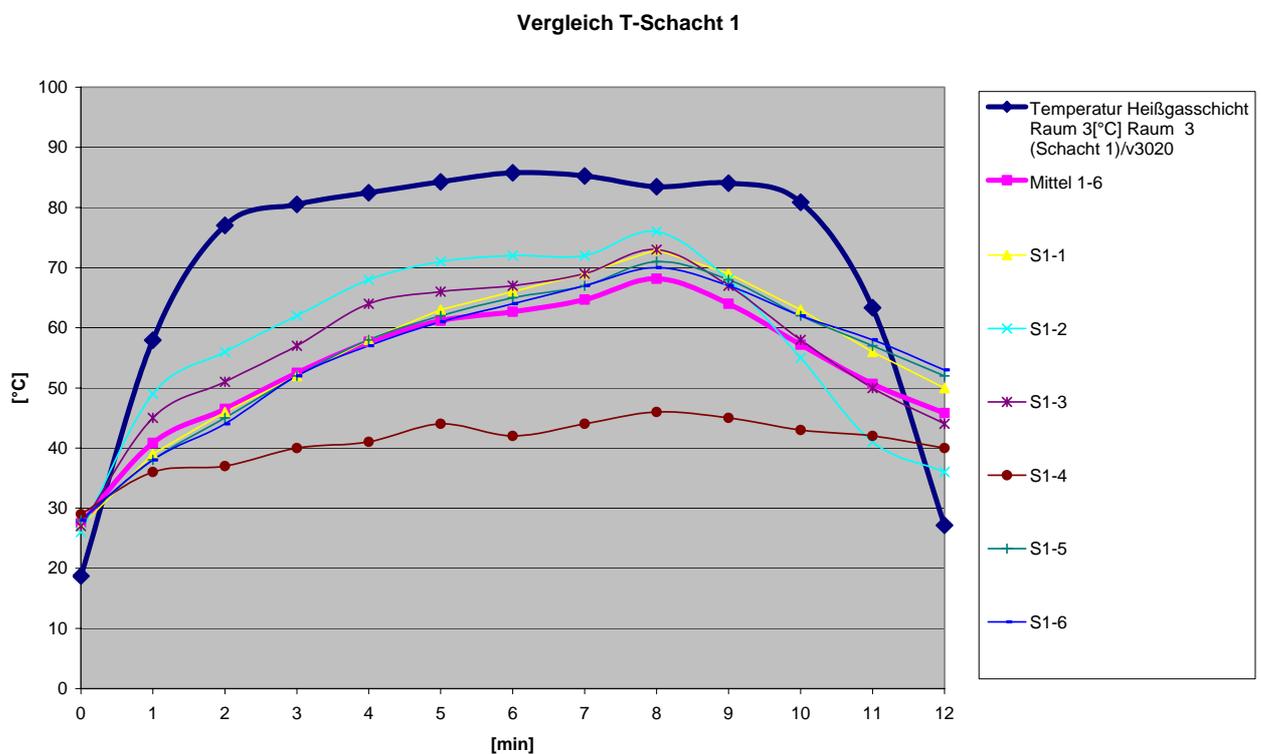


Abbildung 5.34 Vergleich Temperatur Schacht 1

Die berechneten Temperaturen in Schacht 1 und 3 sind zu hoch. (Siehe Abbildung 5.34 und 5.35)

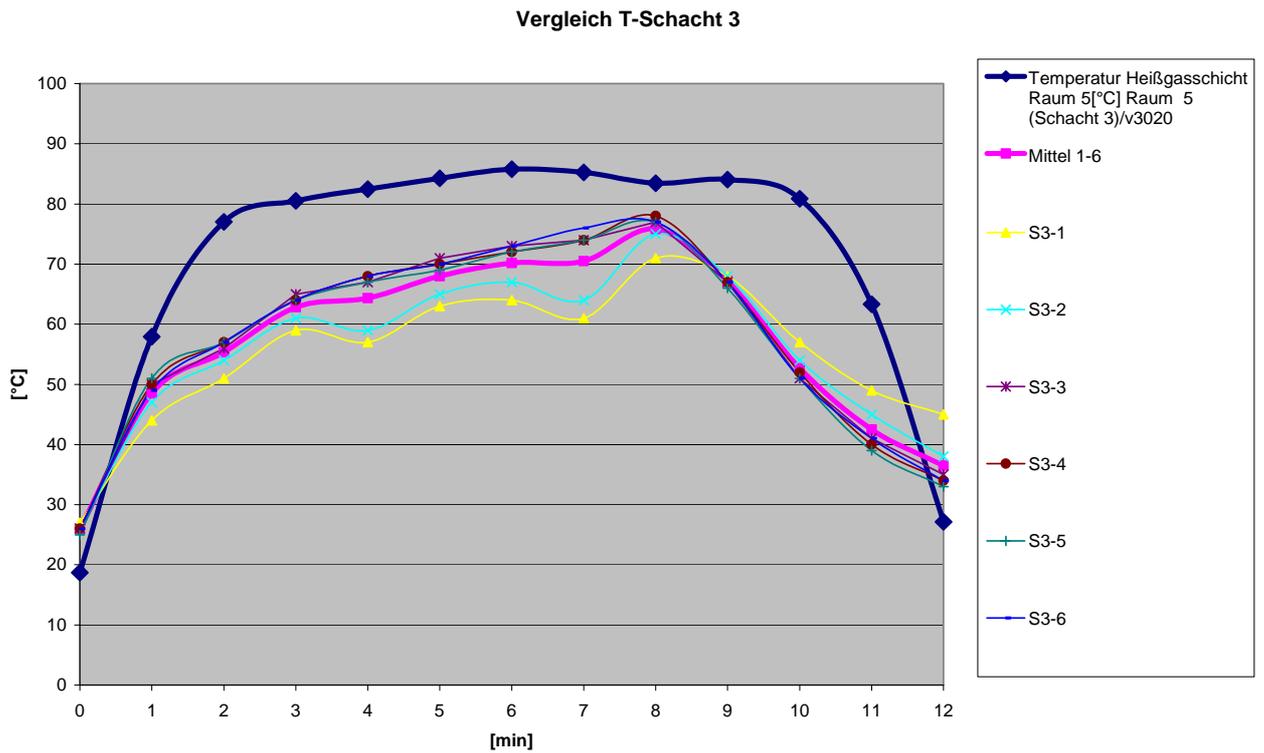


Abbildung 5.35 Vergleich Temperatur Schacht 3

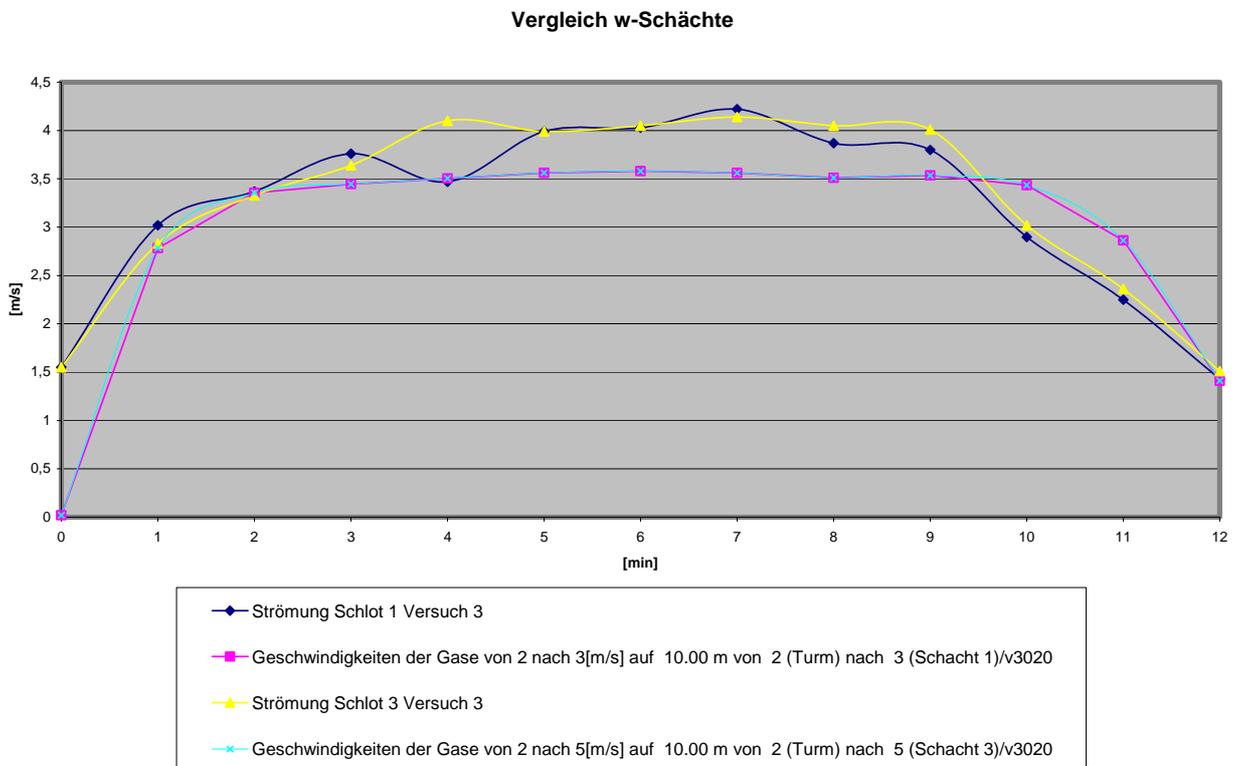


Abbildung 5.36 Vergleich Gasgeschwindigkeiten in den Schächten

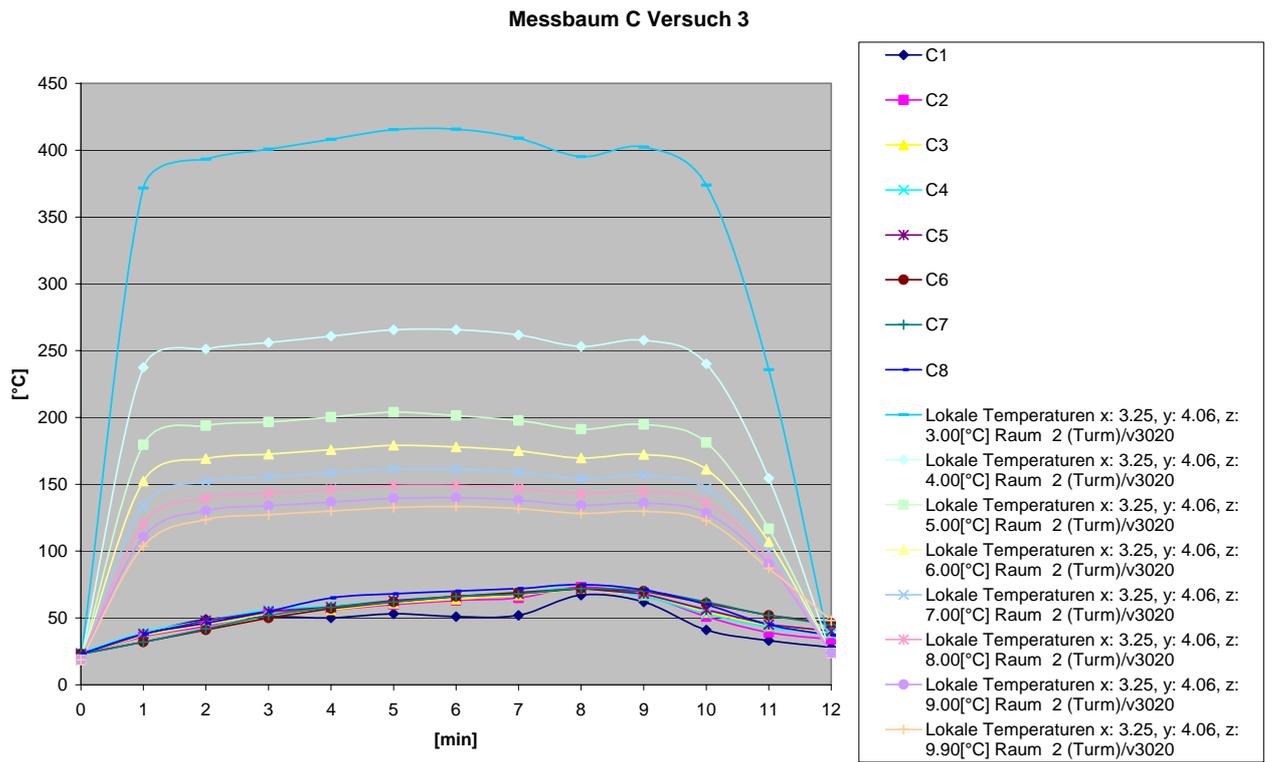


Abbildung 5.37 Vergleich Temperaturen am Messbaum C

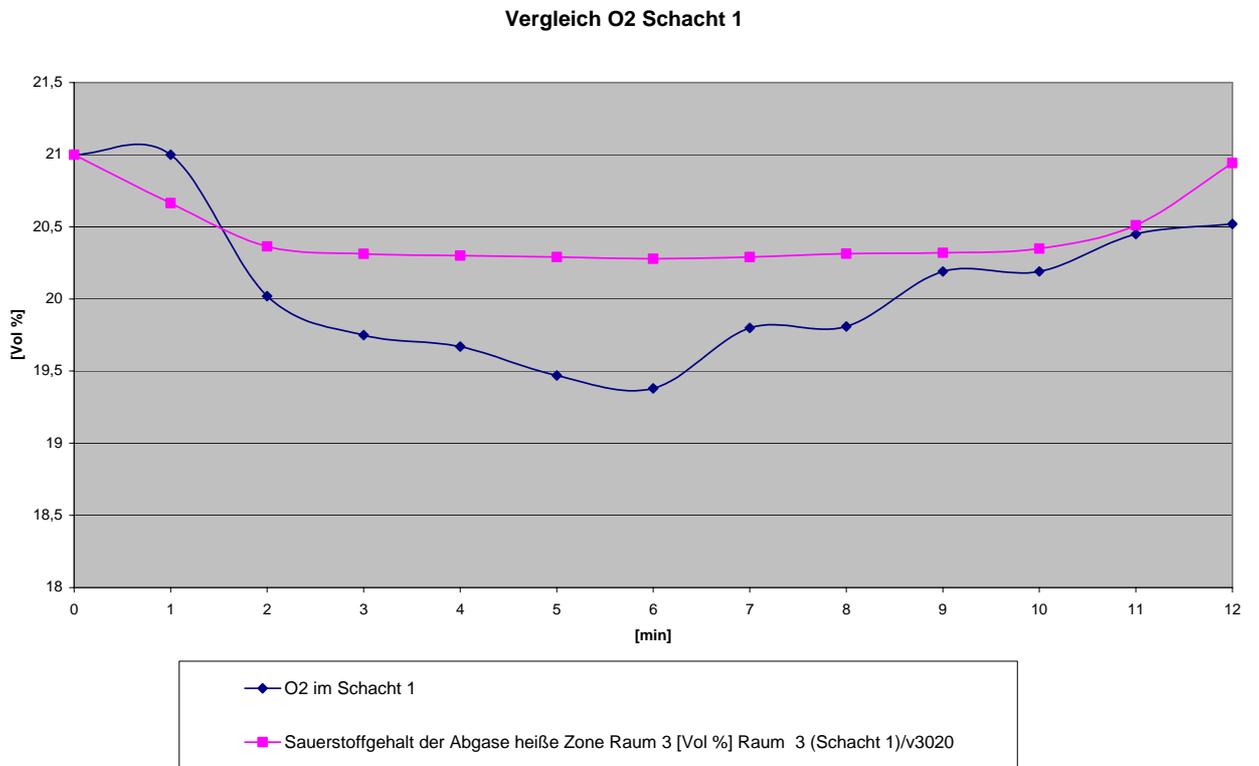


Abbildung 5.38 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1

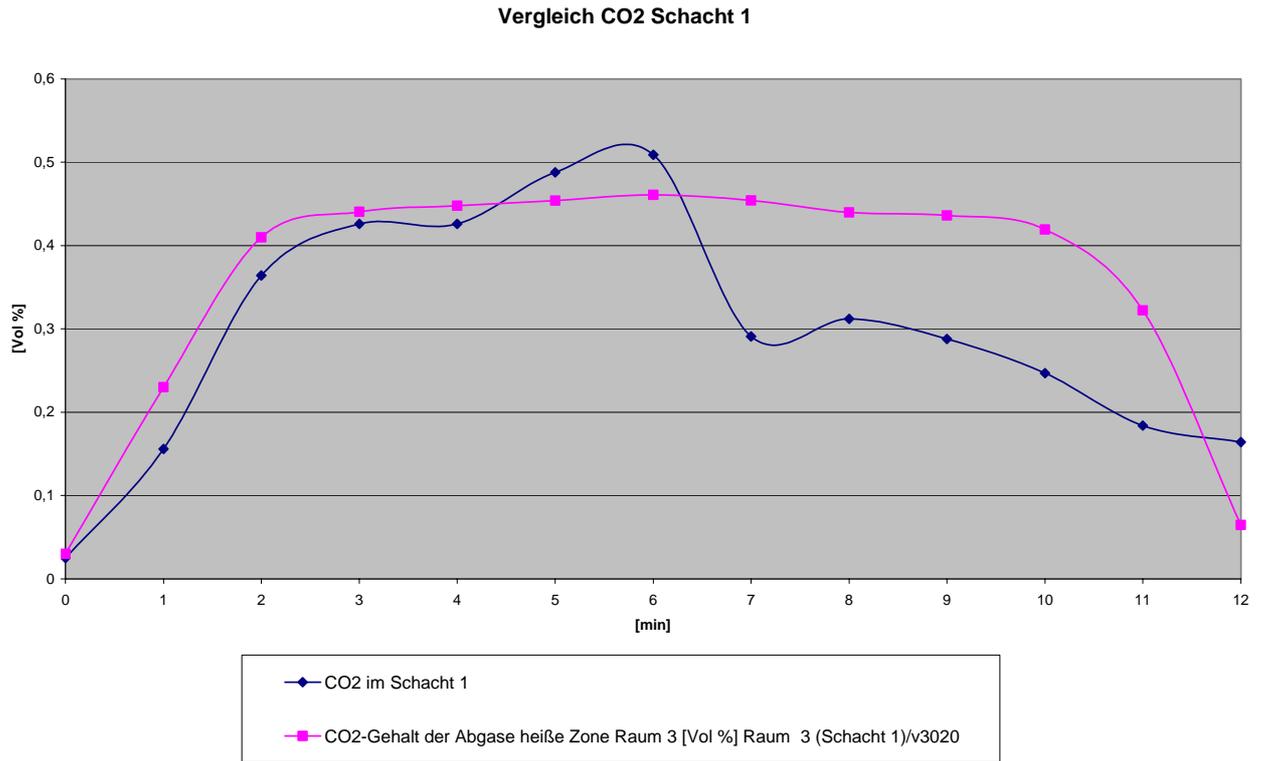


Abbildung 5.39 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1

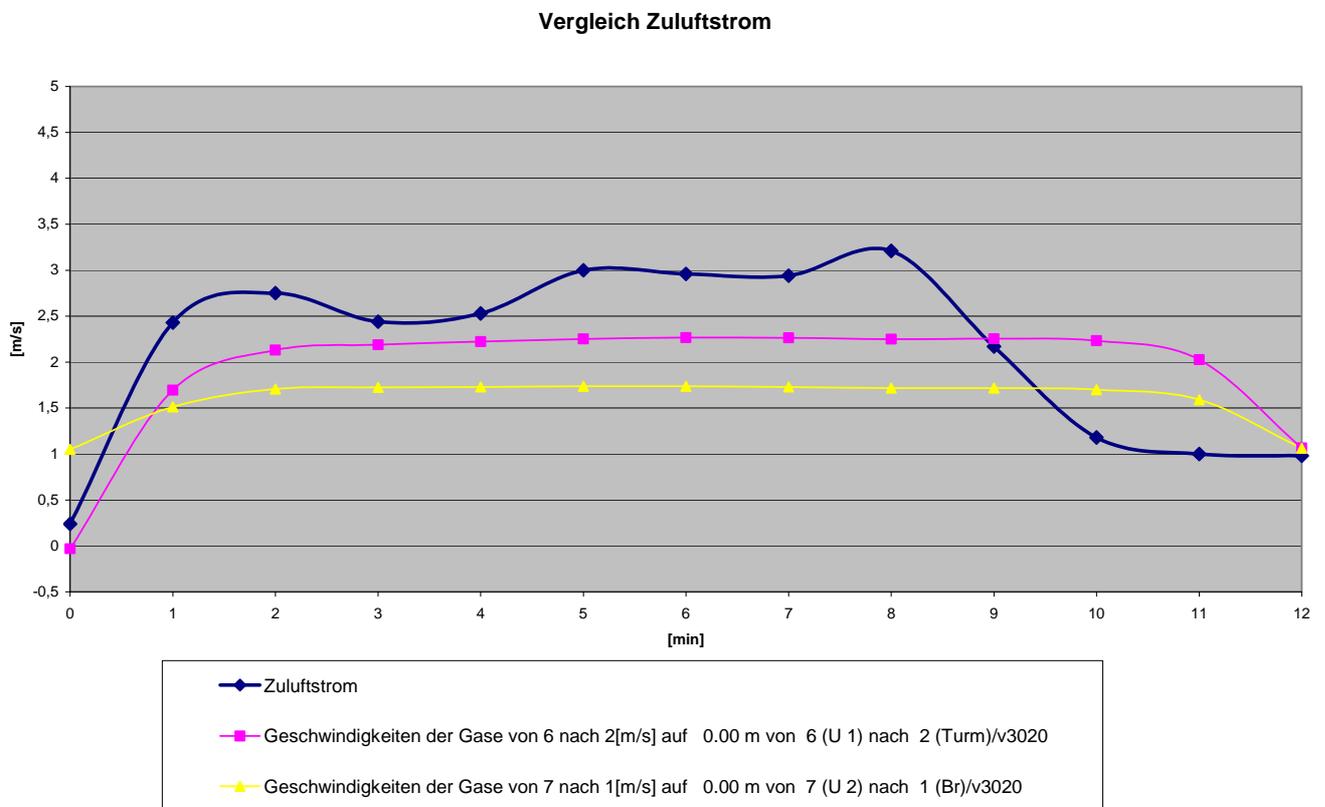


Abbildung 5.40 Vergleich Zuluftstrom

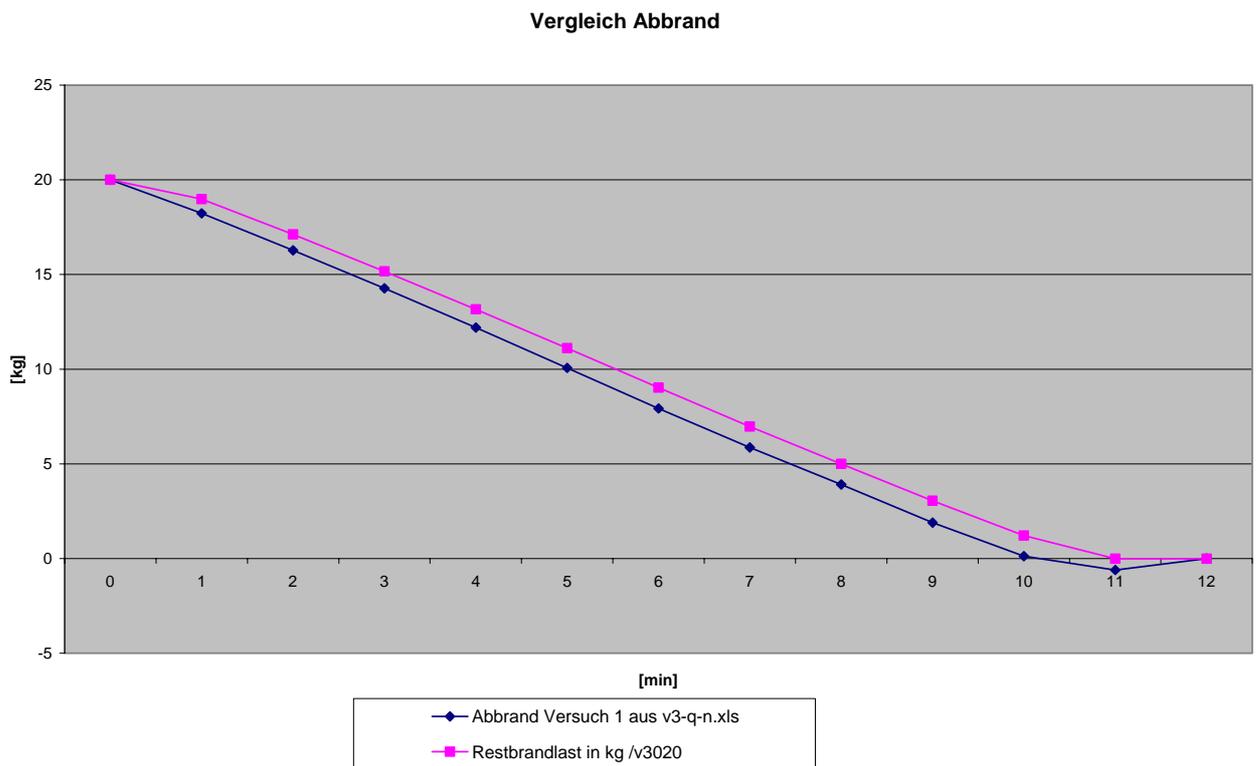


Abbildung 5.41 Vergleich Abbrand

### 5.2.5 Versuch 4 - Ergebnisse des Vergleichs

Tabelle 5.13 Vergleich der Plumeformeln Versuch 4

Dateinamen	Plumeformeln	Lokale Messerte möglich  (es wird ggf. mit Schichtbezogenen Werte verglichen)	Abweichungen (ohne Max-Wert der Abweichung)			
			T Schacht 1 (Mittel S1-1--S1-6)  [°C]	T Schacht 3 (Mittel S3-1-- S3-6)  [°C]	Strömung Schacht 1  [m/s]	Strömung Schacht 3  [m/s]
v4010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.	ja	54,3	36,9	0,9	1,1
v4020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	ja	52,8	35,4	1,0	1,1
v4030	Thomas und Hinkley	ja	80,7	64,7	0,7	0,7
v4040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	ja	55,5	38,2	0,9	1,0
v4050	Heskestad	ja	54,6	37,2	0,9	1,0
v4060	Cetegen	ja	101,0	116,0	4,2	4,0
v4070	Cox/ Chitty	ja	37,6	20,9	1,3	1,4
v4080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	ja	62,0	44,7	0,7	0,8
v4090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	ja	64,1	46,7	0,7	0,9

Messbaum C1 h=3,0m	Messbaum C2 h=4,0m	Messbaum C4 h=6,0m
[°C]	[°C]	[°C]
452,1	326,6	206,7
452,0	326,5	214,4
452,0	326,4	146,3
452,1	326,6	199,7
451,8	326,2	204,0
139,6	123,2	109,4
494,8	401,4	247,5
452,5	327,0	152,7
452,6	327,1	154,1

Dateinamen	Plumeformeln	Messbaum C5 h=7,0m [°C]	Messbaum C7 h=9,0m [°C]	Messbaum C8 h=9,9m [°C]	O <sub>2</sub> im Schacht 1 [m/s]	CO <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]
v4010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.	179,5	149,7	142,3	0,9	0,2
v4020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	184,4	151,7	143,5	0,9	0,2
v4030	Thomas und Hinkley	115,0	106,8	124,3	1,2	0,3
v4040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	174,9	147,8	141,0	0,9	0,2
v4050	Heskestad	177,5	148,6	141,4	0,9	0,2
v4060	Cetegen	108,3	102,6	99,4	18,6	0,8
v4070	Cox/ Chitty	201,1	151,9	139,8	0,7	0,1
v4080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	140,0	128,1	125,9	1,0	0,2
v4090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	142,4	130,5	128,2	1,0	0,2

CO im Schacht 1 [Vol %]	T C <sub>1</sub> mit Heißgas [°C]	Bemerkungen
0,0	47,8	
0,0	46,2	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	80,9	Schlechte Übereinstimmung
0,0	49,1	
0,0	48,1	
0,0	109,4	Abbruch bei MRFC-Berechnung
0,0	15,9	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	56,1	
0,0	58,2	

Nach der Auswertung der mit den Plumeformeln errechneten Werte, sind wieder die meisten Plumeformeln für diesen Vergleich geeignet.

Cox/ Chitty zeigt hier die beste Übereinstimmung bei dem Vergleich der Heißgasschichten und besitzt, außer bei den Messstellen am Messbaum, ansonsten ebenfalls gute Vergleichswerte.

Für die Darstellung der wichtigen Diagramme wurde V4070 gewählt.

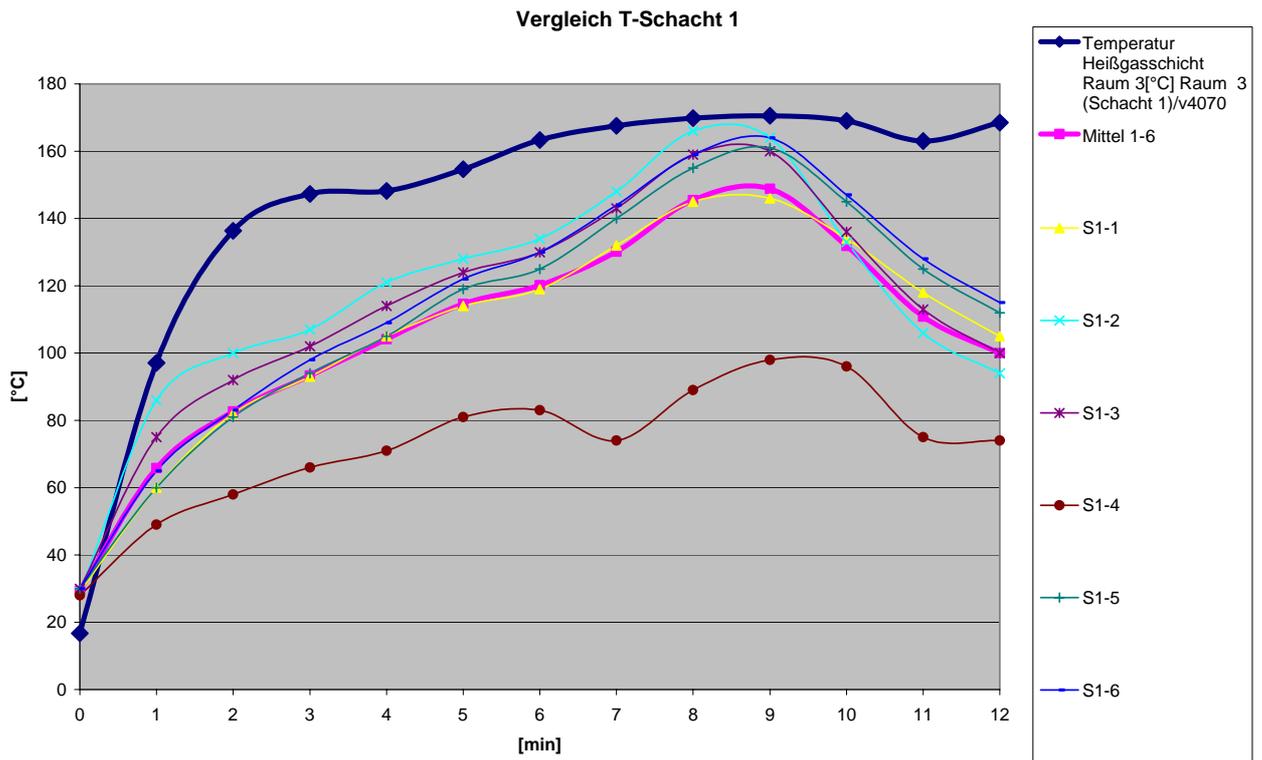


Abbildung 5.42 Vergleich Temperatur Schacht 1

Bei Versuch 4 weichen die Temperaturen in den Schächten nur noch in der Anfangs- und Schlussphase von den gemessenen wesentlich ab.



Abbildung 5.43 Vergleich Temperatur Schacht 3

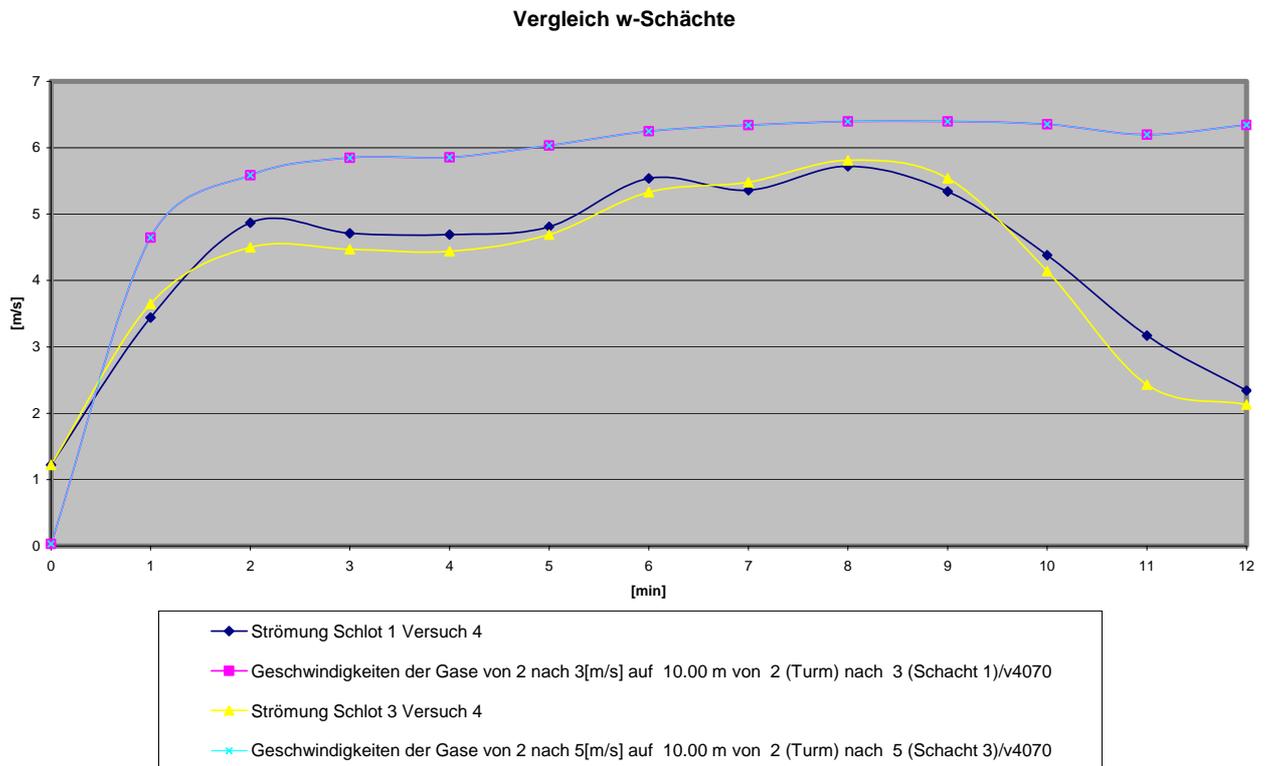


Abbildung 5.44 Vergleich Gasgeschwindigkeiten in den Schächten

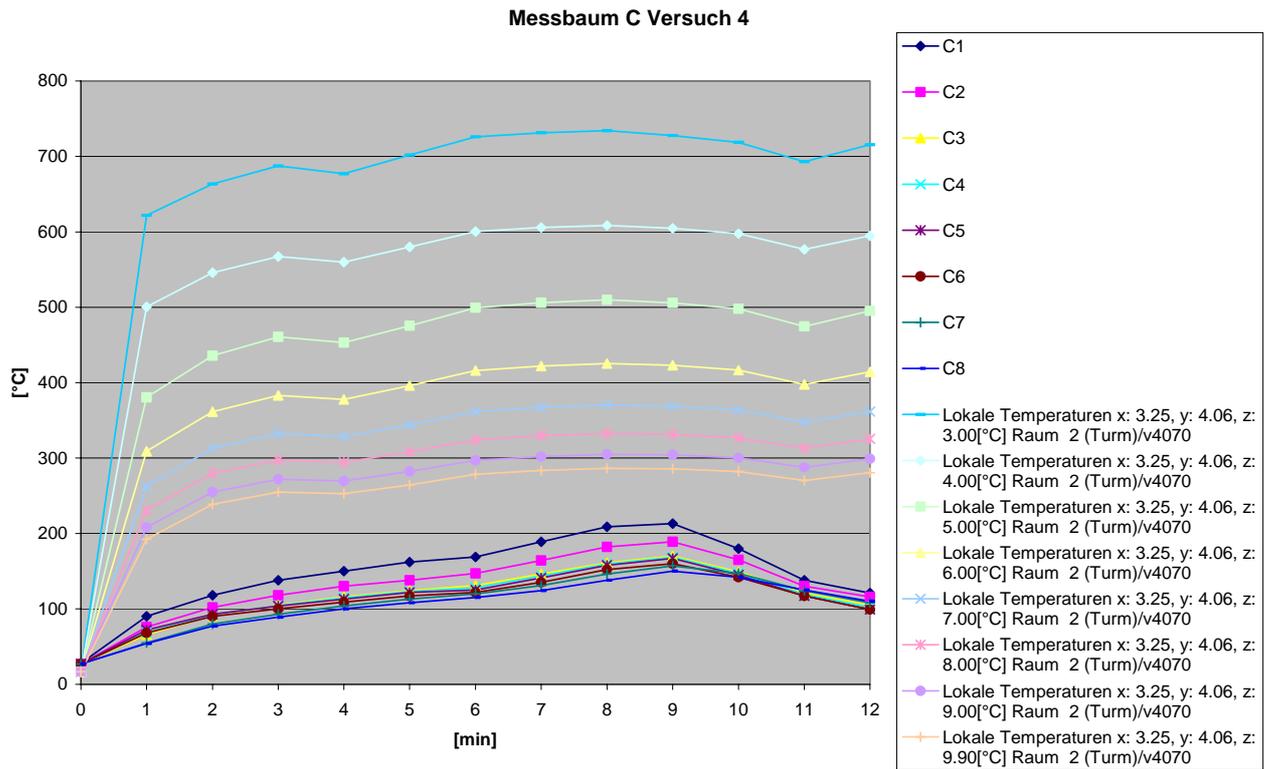


Abbildung 5.45 Vergleich Temperaturen am Messbaum C

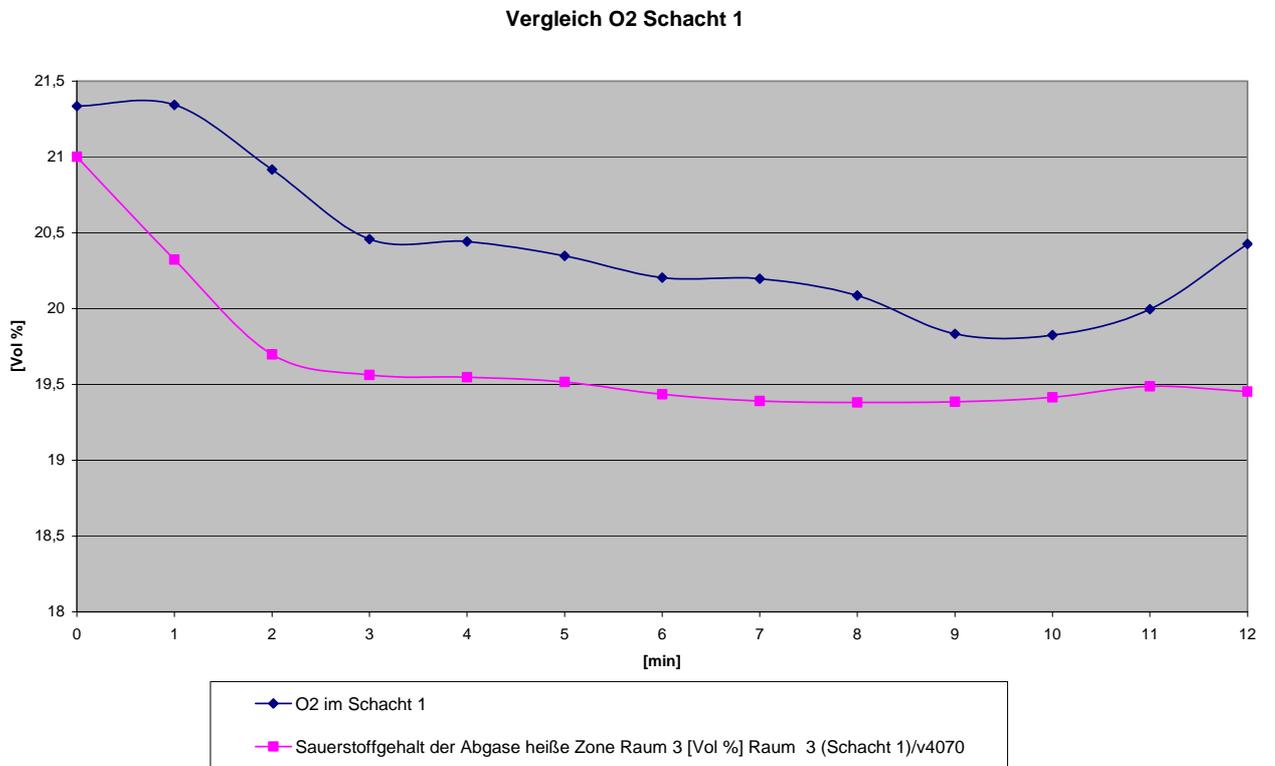


Abbildung 5.46 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1

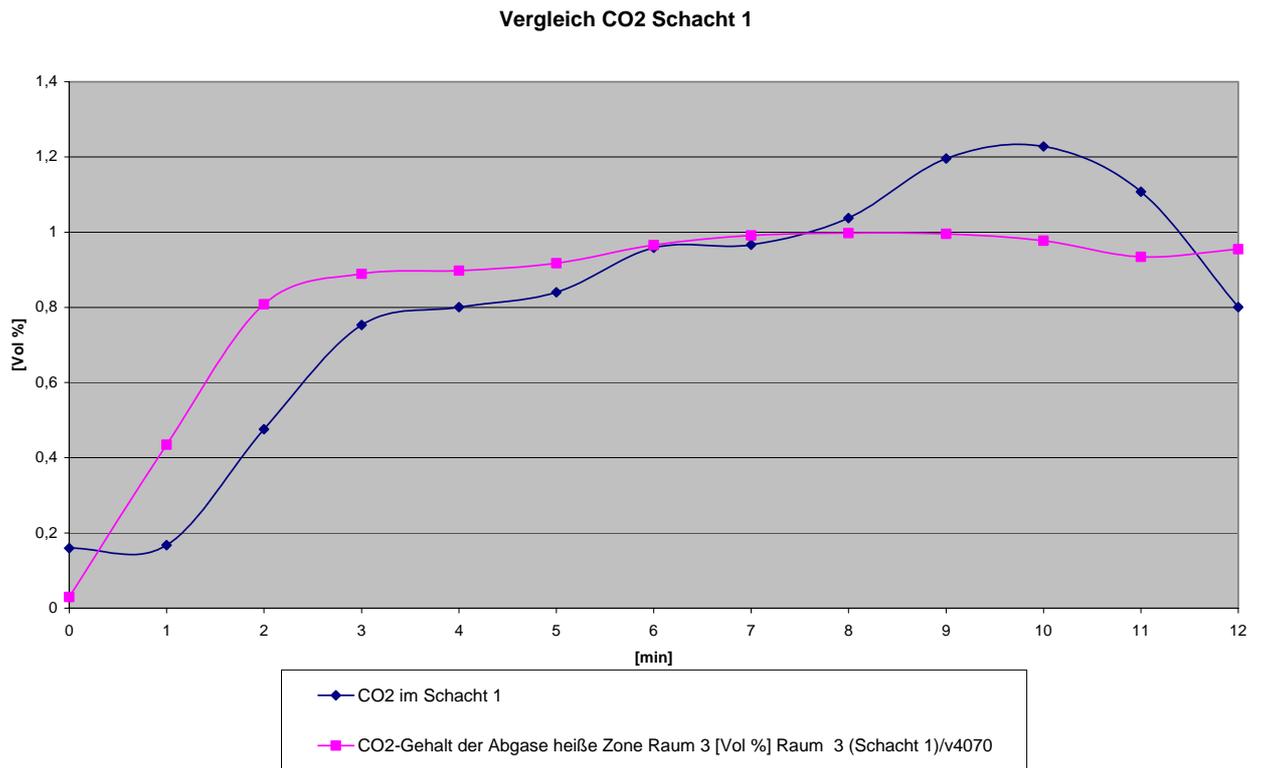
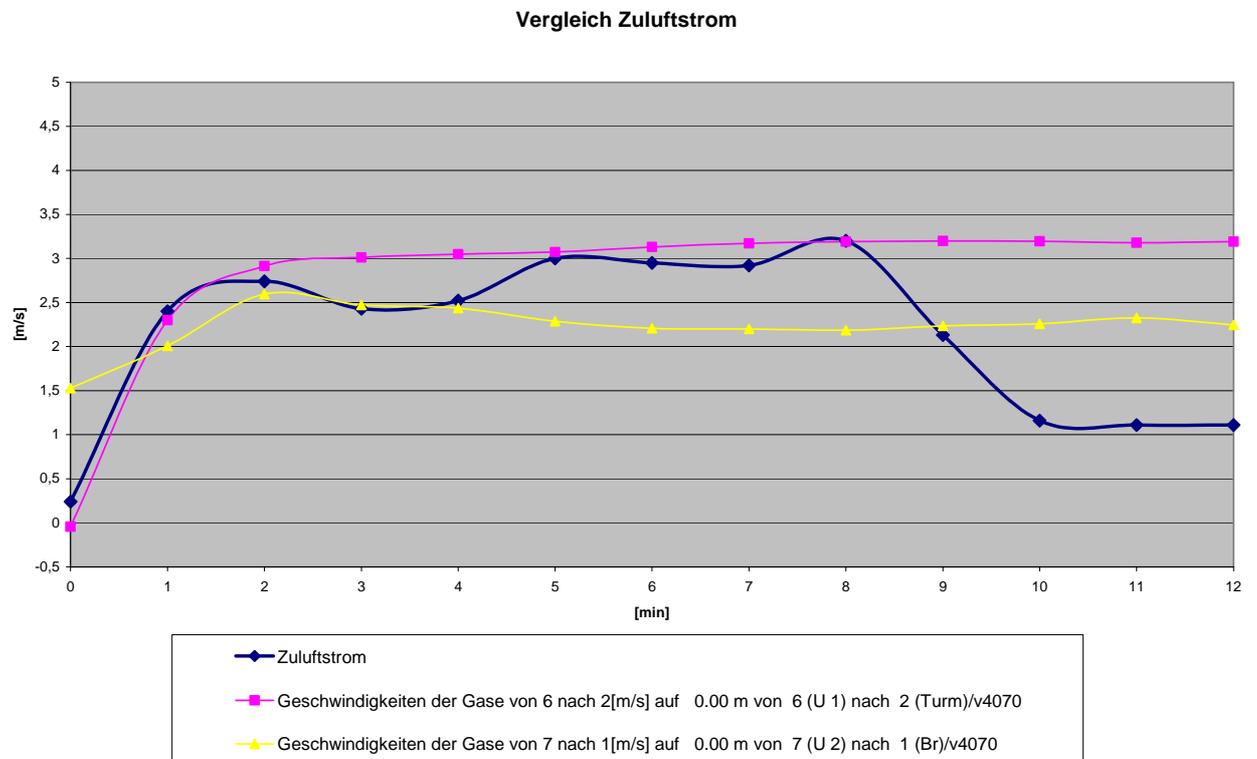
Abbildung 5.47 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1

Abbildung 5.48 Vergleich Zuluftstrom

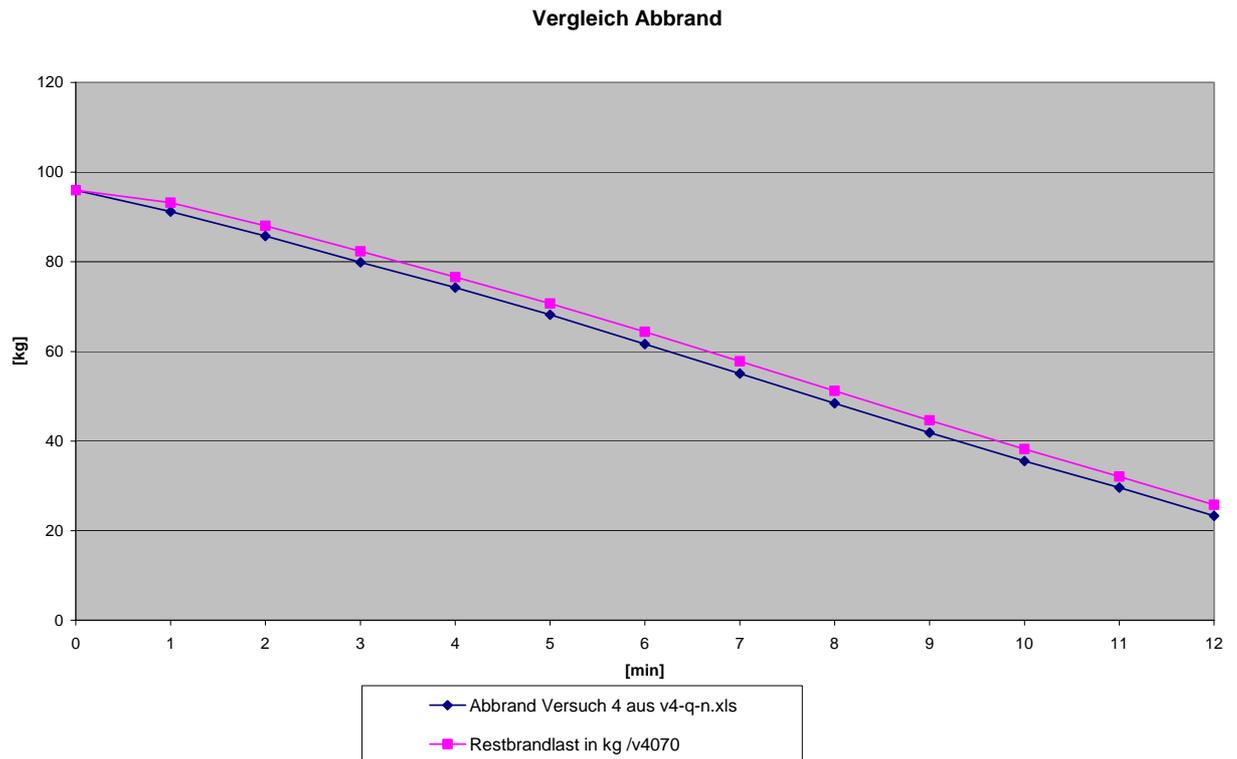


Abbildung 5.49 Vergleich Abbrand

### 5.2.6 Bewertung der Versuchsergebnisse

Es ist zu erkennen, dass MRFC sich den experimentellen Versuchswerten gut annähert. Die Versuche 3 und 4 liefern aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit den Modellannahmen bessere Ergebnisse als die der Versuche 1 und 2. Generell passen die Rechenergebnisse gut zu den Versuchsergebnissen. Die Vorausberechnungen mit Standardeinstellungen zeigen, dass MRFC für Brandberechnungen in der Praxis für diesen Anwendungsfall hinreichend genaue Ergebnisse bringen kann. Zu den Versuchsergebnissen aus Leipzig muss noch angemerkt werden, dass es hier um gefilterte Daten handelt. Größere Abweichungen wurden hier bereits beseitigt. Ungenauigkeiten bei den lokalen Temperaturen resultieren daraus, dass MRFC die lokale Temperatur mit Hilfe der Flammentemperatur berechnet (gesondert im Programm) und diese nicht genau bekannt ist. Ebenfalls ist das Programm entwickelt worden, um die Temperaturen schichtweise zu mitteln. Der Anwendungsbereich ist für die brandschutztechnische Beurteilung von Objekten ausgerichtet, wie z. B. die Rauchgasverteilung oder die entstehenden Temperaturen am Dachtragwerk. Lokale Werte spielen dabei keine wesentliche Rolle. MRFC wurde bereits mehrfach mit Versuchen verglichen und auf Grund der allgemein guten Übereinstimmung mit der Realität ist es in der Brandschutzbewertung anerkannt.

## 6 Feinabstimmung MRFC

Nach der Verifikation wird nun versucht, sich mit MRFC an die experimentellen Versuchswerte anzunähern.

Bei diesen Berechnungen muss immer überprüft werden, ob dieses „Hinrechnen“ und somit eine spätere Berücksichtigung bei MRFC überhaupt sinnvoll ist, da vielleicht andere Versuchsaufbauten sich wieder von Leipzig unterscheiden und dann möglicherweise schlechtere Werte erzeugen.

### 6.1 Überprüfen der Zusammensetzung von Isopropanol

Isopropanol, Isopropylalkohol oder auch n-Propanol (Di-Propanol = 2-Propanol) genannt hat folgende Summenformel:



Die Molekülmasse von Isopropanol gliedert sich in:

3 x Kohlenstoff = 3 x 12 = 36	% bezogen auf gesamte Masse =	60,0 %
8 x Wasserstoff = 8 x 1 = 8		13,3 %
1 x Sauerstoff = 1 x 16 = 16		26,7 %

Die Überprüfung hat gezeigt, dass der Brandstoff richtig in seiner Zusammensetzung bei MRFC eingegeben wurde.

### 6.2 Flammentemperatur

Die lokalen Temperaturen werden mit der Flammentemperatur berechnet. Es ist nun zu überprüfen welche Flammentemperatur Isopropanol besitzt. Der Standardwert in MRFC beträgt 1.200°C. Ist dieser Wert gerechtfertigt, oder kann die Flammentemperatur für die Berechnungen niedriger angesetzt werden?

In [1] sind für folgende Alkohole die Flammentemperaturen angegeben:

- Methanol  $T_f = 1.300 \text{ K}$
- Ethanol  $T_f = 1.490 \text{ K}$

Da Isopropanol zu den Alkoholen zählt ist die Annahme mit 1.200°C schon relativ konservativ und wird deshalb nicht abgeändert.

Berechnungen mit MRFC haben aber gezeigt, dass wenn die Flammentemperatur nach unten hin abgeändert wird eine bessere Annäherung an die Versuchsergebnisse erfolgt.

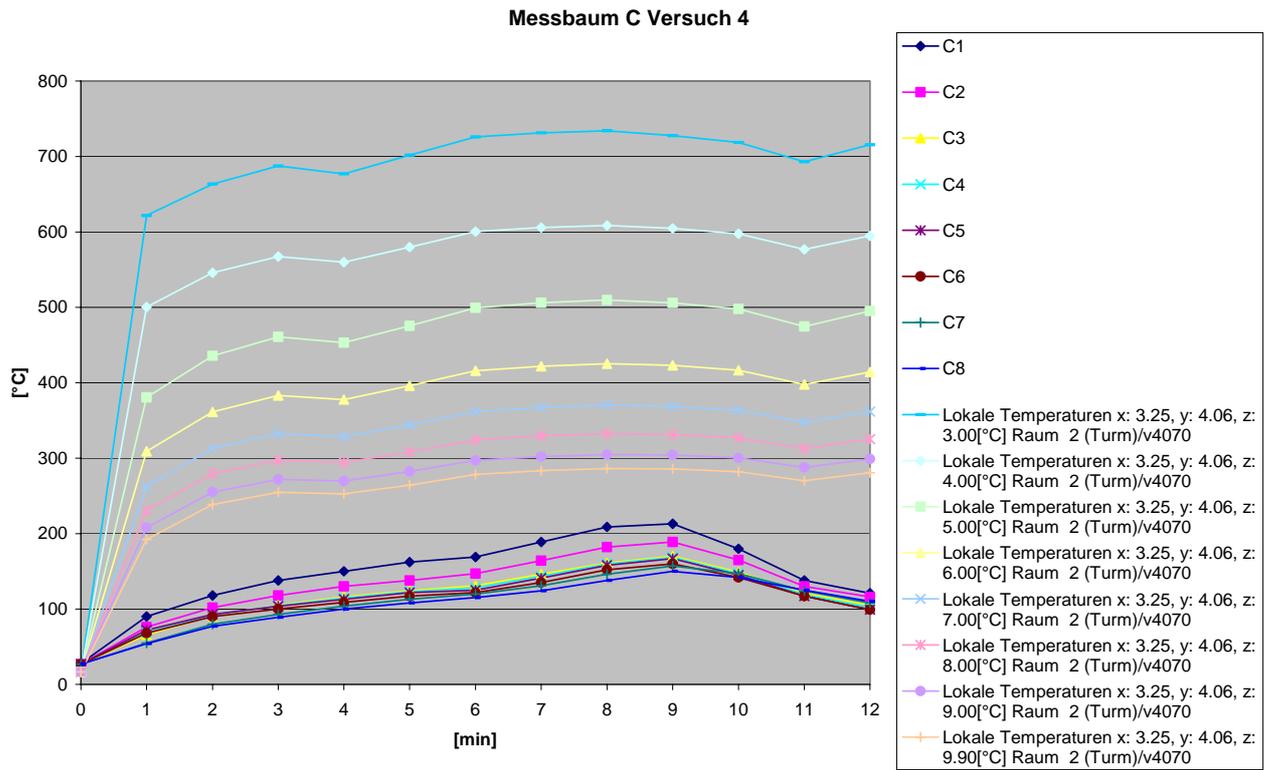


Abbildung 6.1 Zuerst  $T_f = 1.200^\circ C$

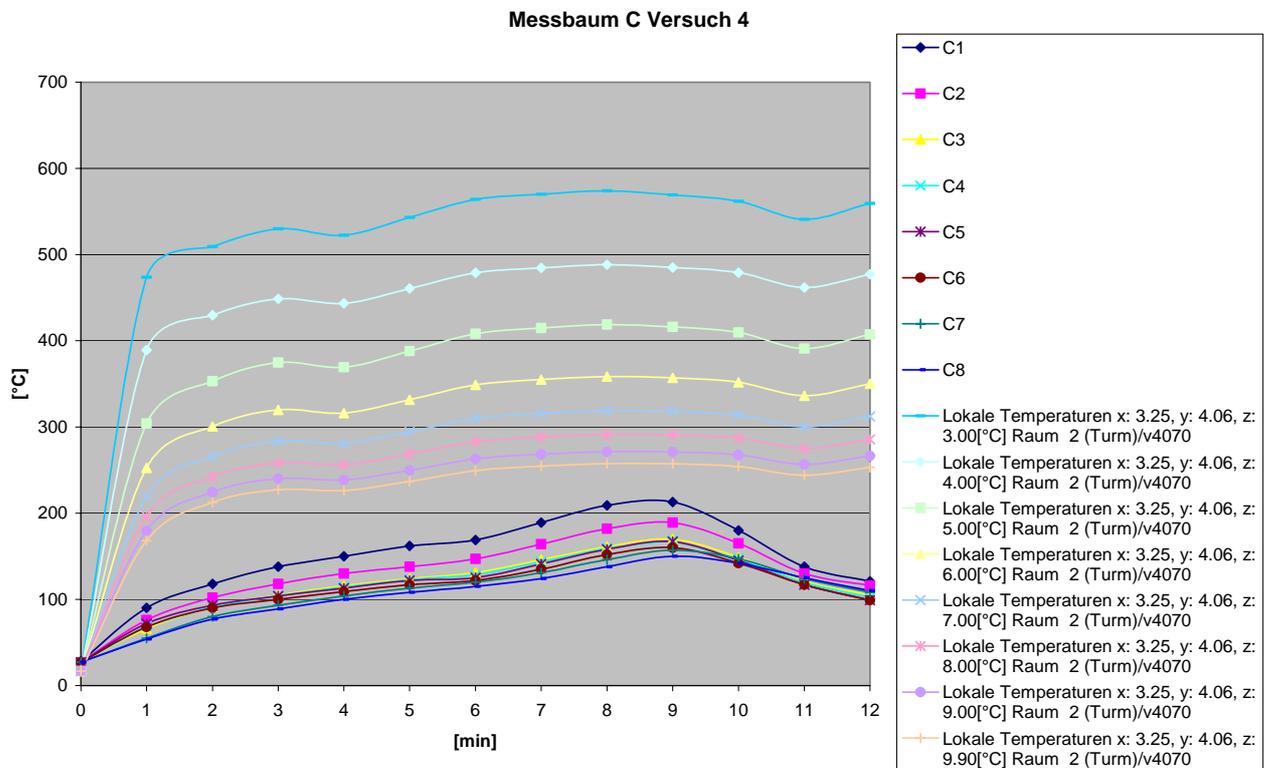


Abbildung 6.2  $T_f = 800^\circ C$

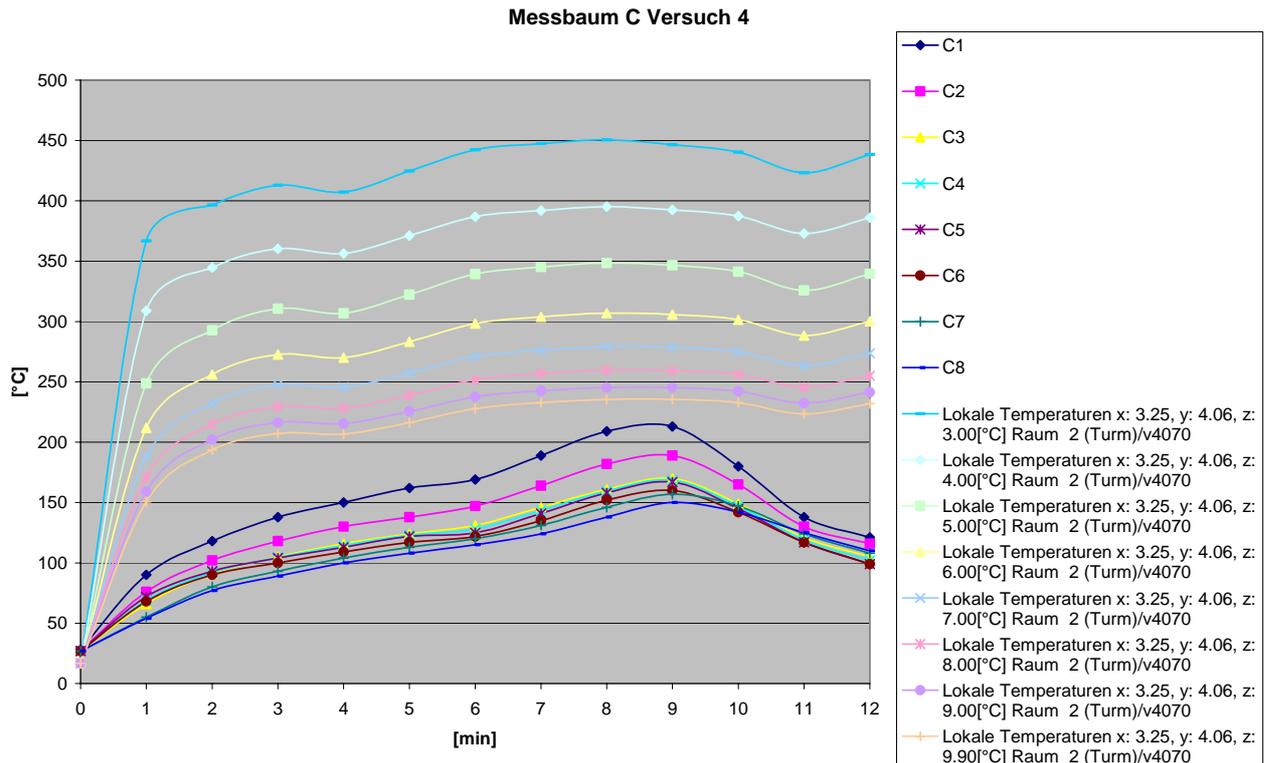


Abbildung 6.3  $T_f = 600^\circ\text{C}$

Die Variationen bei den Flammentemperaturen in MRFC zeigen, dass selbst bei einer auf  $600^\circ\text{C}$  reduzierten Temperatur die lokalen Messergebnisse (MRFC) gegenüber den experimentellen Versuchsergebnissen, nach wie vor, deutlich zu hoch sind.

Eine Bewertung der lokalen Temperaturen ist demzufolge nicht möglich.

Im Gegensatz zu den bei den Versuchen in Schacht 1 und 3 tatsächlich gemessenen unterschiedlichen Temperaturen kann dies in MRFC nicht berücksichtigt werden. Hier kann lediglich mit einer Heißgasschicht gerechnet werden, wobei diese Heißgasschicht über den jeweiligen Raum gemittelt wird.

### 6.3 Brandleistung

Die Temperaturen sind in Schacht 3 größer als die Temperaturen im Schacht 1, da bei den Messungen der Zuluftstrom von dem kleinen Tor die Flamme in Richtung des Schachtes 3 gedrückt hat. Im folgenden wird versucht die Temperatur aus der MRFC-Berechnung an die experimentellen Versuchsergebnisse anzupassen. Der Unterschied zwischen Schacht 1 und Schacht 3 kann nicht angepasst werden, da die Neigung des Plume nicht verändert werden kann. Mit der Brandleistung soll nur die allgemeine Temperatur angepasst werden.

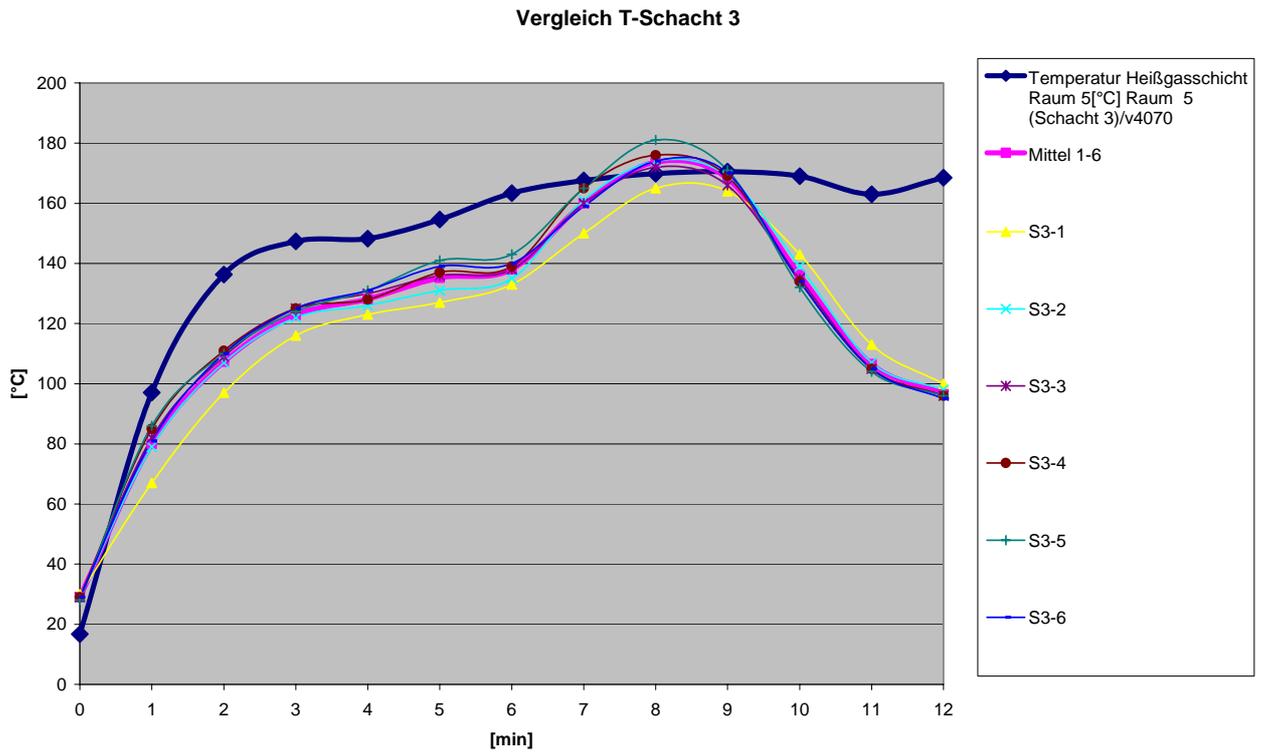


Abbildung 6.4 Brandleistung nach Versuch

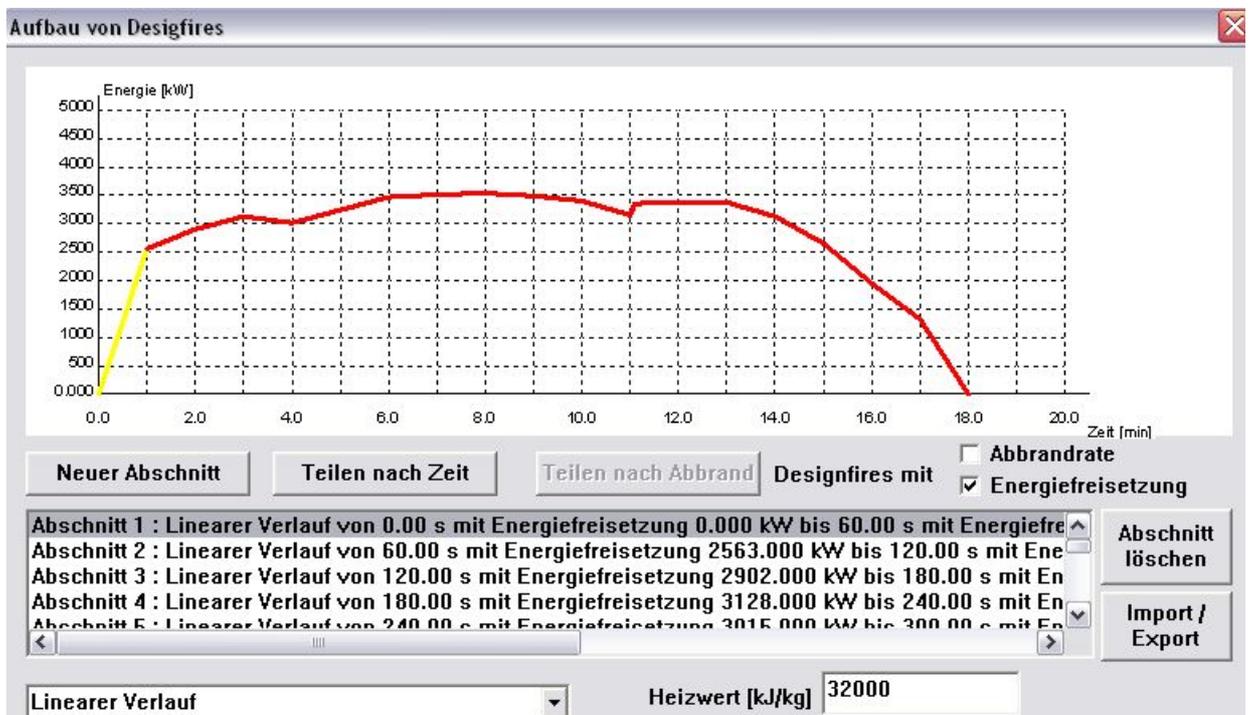


Abbildung 6.5 Auszug aus MRFC "Eingabe von Designfires"

Es wird nun in den Zeitschritten von 1 bis 6 Minuten die Brandleistung herabgesetzt. Ebenso im Bereich von 10 bis 12 Minuten.

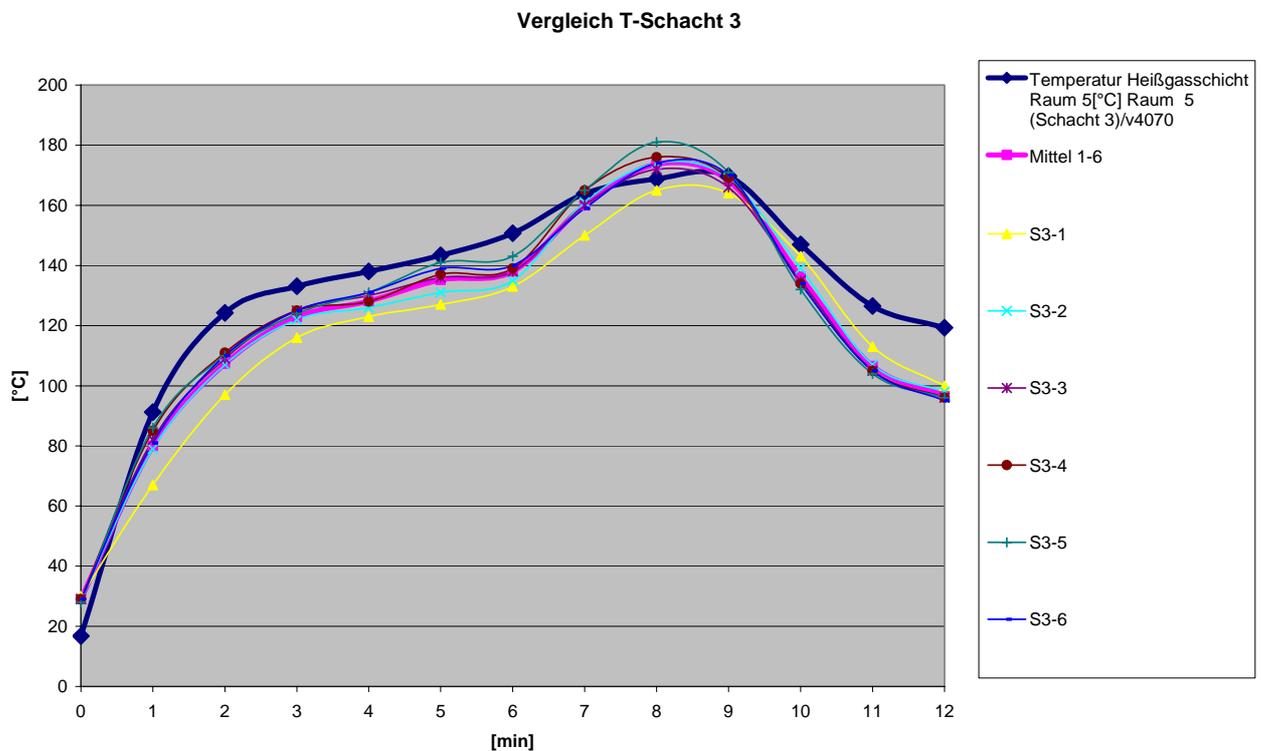


Abbildung 6.6 Energiefreisetzung angepasst

Die Anpassung der Energiefreisetzung/ Brandleistung ist nun beim Temperaturverlauf deutlich zu erkennen. Von ursprünglich 96 kg Brandmasse wären allerdings nur noch 83 kg erforderlich.

Eine solche Veränderung der Brandleistung hat nun auch Auswirkungen auf die anderen Messwerte. Exemplarisch hierfür sind nachfolgend die neue Sauerstoffkonzentration und das CO<sub>2</sub>-Diagramm wiedergegeben.

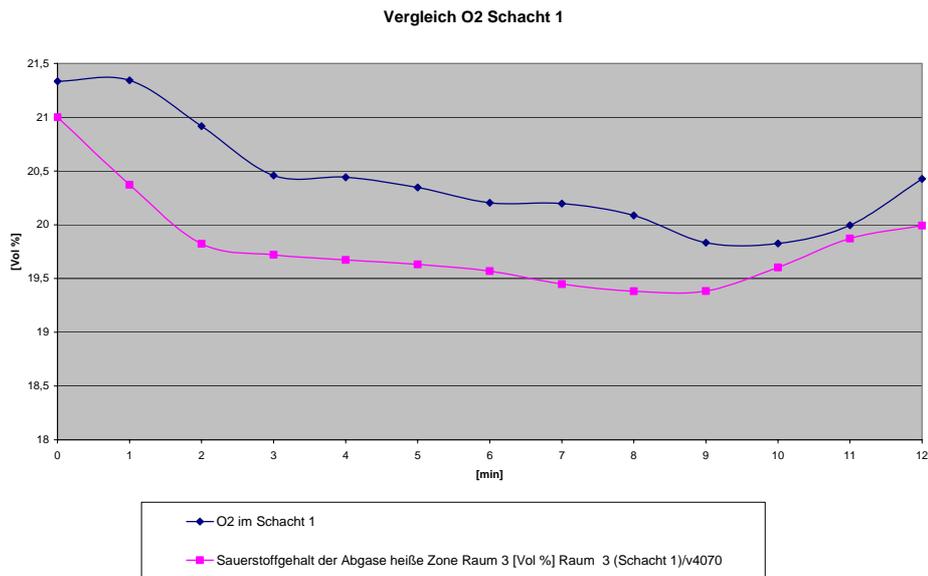


Abbildung 6.7 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1

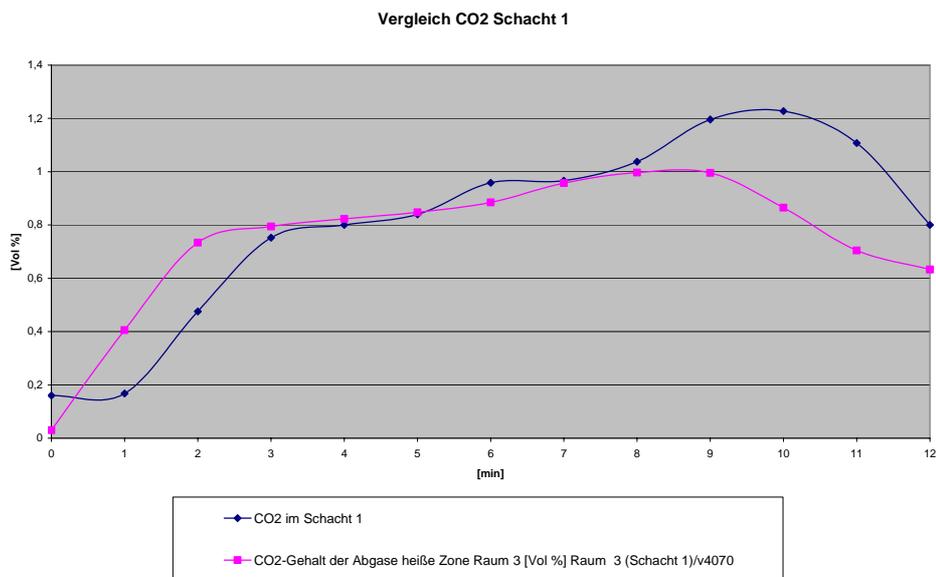


Abbildung 6.8 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1

Wird ein Versuchswert angepasst, hat dies in der Regel direkte Auswirkungen auf die anderen Ergebnisse. Bei Sauerstoff- und CO<sub>2</sub>-Konzentration kann im vorliegenden Fall sogar eine Verbesserung festgestellt werden. Bevor jedoch von einer vorgegebenen rechnerischen Brandleistung abgewichen wird, bedarf es reiflicher Überlegung. Ist man sich nicht sicher, sollte man die Eingabewerte gleich den Versuchswerten setzen. Wie im Vorfeld bereits einmal erwähnt können auch experimentelle Versuchswerte Ungenauigkeiten unterworfen sein.

#### 6.4 Lage und Geometrie des Brandherdes

Bei den berechneten lokalen Temperaturen gibt es sehr hohe Abweichungen. Bei der Simulation wurde der Brandherd exakt in die Mitte des Raumes gelegt. Ebenso auch die Messstellen der lokalen Temperaturen. Da aber auf den Bildern der Berichte die Poolwannen etwas getrennt von einander standen, lag hier der Messbaum nicht direkt in der Flamme. Bisher wird die Brandfläche als eine Wanne gerechnet. In Wirklichkeit waren dies mehrere. Es wird nun die Lage des Brandherdes aus der Mitte verschoben und zusätzlich, um den Umfang des gesamten Plumes anzupassen, auch die Geometrie verändert.

Grundfläche Plume alt: 1,54 m \* 1,54 m      neu: 2,38 m \* 1,0 m

Lage: in x-Richtung mittig,  
in y-Richtung um 1,5 m verschoben (bei 1,0 m Breite entspricht das einem Abstand von 1,0 m bis zur Wanne).

Für diese Änderung wird Versuch 4 mit der Plumeformel Mc Caffery (modifiziert für große Höhen) gewählt, da diese als Standard in MRFC benutzt wird.

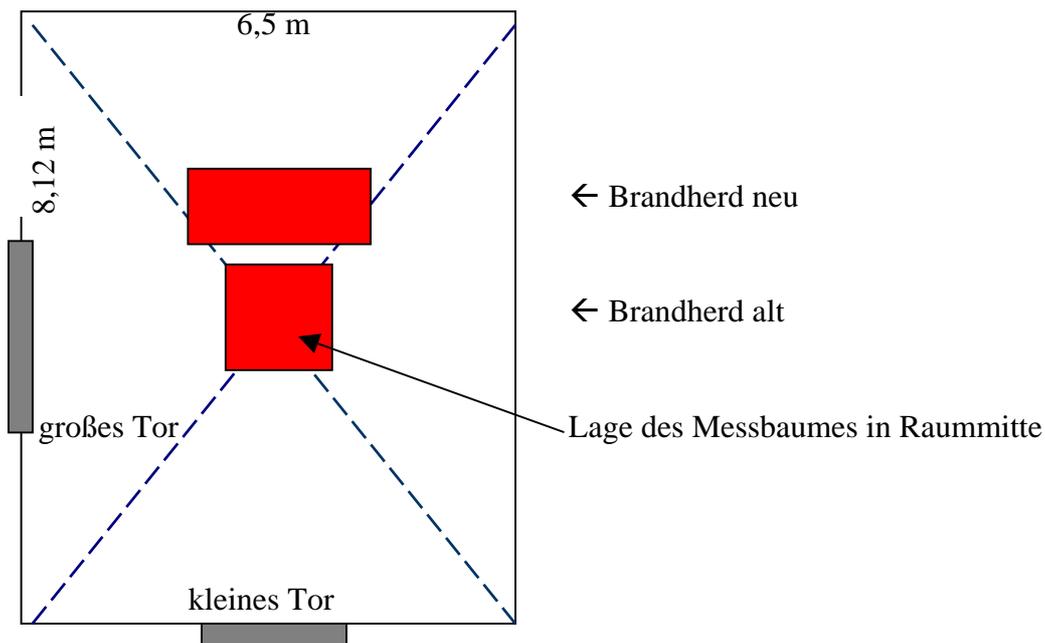


Abbildung 6.9 Skizze Grundfläche Turm

Die Berechnungen ergaben, dass die vorgenommenen Veränderungen erfolgreich waren und bessere Annäherungen gebracht haben. Große Abweichungen der lokalen Temperaturen sind nun nicht festzustellen, jedoch ist auf Grund des rechteckigen Brandgrundrisses die Energiefreisetzung nicht mehr gleichmäßig. Es findet ein sprunghafter Anstieg der Temperaturen statt.

Tabelle 6.1 Vergleich der Plumeformeln Versuch 4 - Lage und Geometrie geändert-

Dateinamen	Plumeformeln	Lokale Messerte möglich  (es wird ggf. mit Schichtbezogenen Werte verglichen)	Abweichungen (ohne Max-Wert der Abweichung)			
			T Schacht 1 (Mittel S1-1--S1-6)  [°C]	T Schacht 3 (Mittel S3-1-- S3-6)  [°C]	Strömung Schacht 1  [m/s]	Strömung Schacht 3  [m/s]
v4010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	ja	54,3	36,9	0,9	1,1
v4020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	ja	50,8	33,4	1,0	1,1
v4030	Thomas und Hinkley	ja	80,7	64,7	0,7	0,7
v4040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	ja	55,5	38,2	0,9	1,0
v4050	Heskestad	ja	54,6	37,2	0,9	1,0
v4060	Cetegen	ja	101,0	116,0	4,2	4,0
v4070	Cox/ Chitty	ja	37,6	20,9	1,3	1,4
v4080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	ja	62,0	44,7	0,7	0,8
v4090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	ja	64,1	46,7	0,7	0,9

Messbaum C1 h=3,0m  [°C]	Messbaum C2 h=4,0m  [°C]	Messbaum C4 h=6,0m  [°C]
452,1	326,6	206,7
114,2	95,7	34,7
452,0	326,4	146,3
452,1	326,6	199,7
451,8	326,2	204,0
139,6	123,2	109,4
494,8	401,4	247,5
452,5	327,0	152,7
452,6	327,1	154,1

Dateinamen	Plumeformeln	Messbaum C5 h=7,0m [°C]	Messbaum C7 h=9,0m [°C]	Messbaum C8 h=9,9m [°C]	O <sub>2</sub> im Schacht 1 [m/s]	CO <sub>2</sub> im Schacht 1 [Vol %]
v4010	Mc Caffery/ Thomas und Hinkley (MRFC Mod.)	179,5	149,7	142,3	0,9	0,2
v4020	Mc Caffery (modifiziert für große Höhen)	40,5	58,7	70,3	0,8	0,2
v4030	Thomas und Hinkley	115,0	106,8	124,3	1,2	0,3
v4040	Zukoski (ohne virtuellen Ursprung, Tanaka)	174,9	147,8	141,0	0,9	0,2
v4050	Heskestad	177,5	148,6	141,4	0,9	0,2
v4060	Cetegen	108,3	102,6	99,4	18,6	0,8
v4070	Cox/ Chitty	201,1	151,9	139,8	0,7	0,1
v4080	Zukoski mit virtuellem Ursprung	140,0	128,1	125,9	1,0	0,2
v4090	Zukoski mit virt. Urspr./ Thomas, Hinkley	142,4	130,5	128,2	1,0	0,2

CO im Schacht 1 [Vol %]	T C_ mit Heißgas [°C]	Bemerkungen
0,0	47,8	
0,0	44,1	Gute Übereinstimmung mit Versuch
0,0	80,9	
0,0	49,1	
0,0	48,1	
0,0	109,4	
0,0	15,9	
0,0	56,1	
0,0	58,2	

Der Unterschied zwischen den ursprünglichen Plume-Berechnungen und der veränderten Berechnung von v4020 ist deutlich zu erkennen.

Die Temperaturen in den Schächten sind dabei immer noch zu hoch. Auch nimmt in der Anfangsphase die Temperatur bei der Berechnung immer noch zu steil zu.

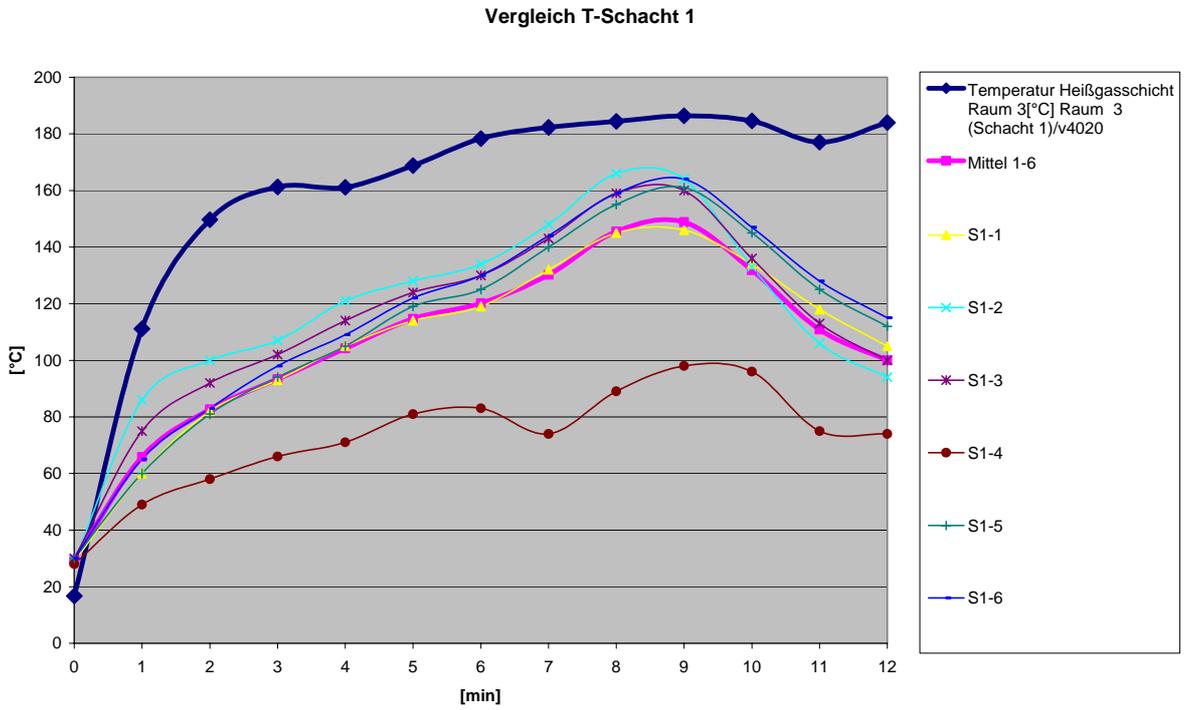


Abbildung 6.10 Vergleich Temperatur Schacht 1 - Lage und Geometrie geändert -

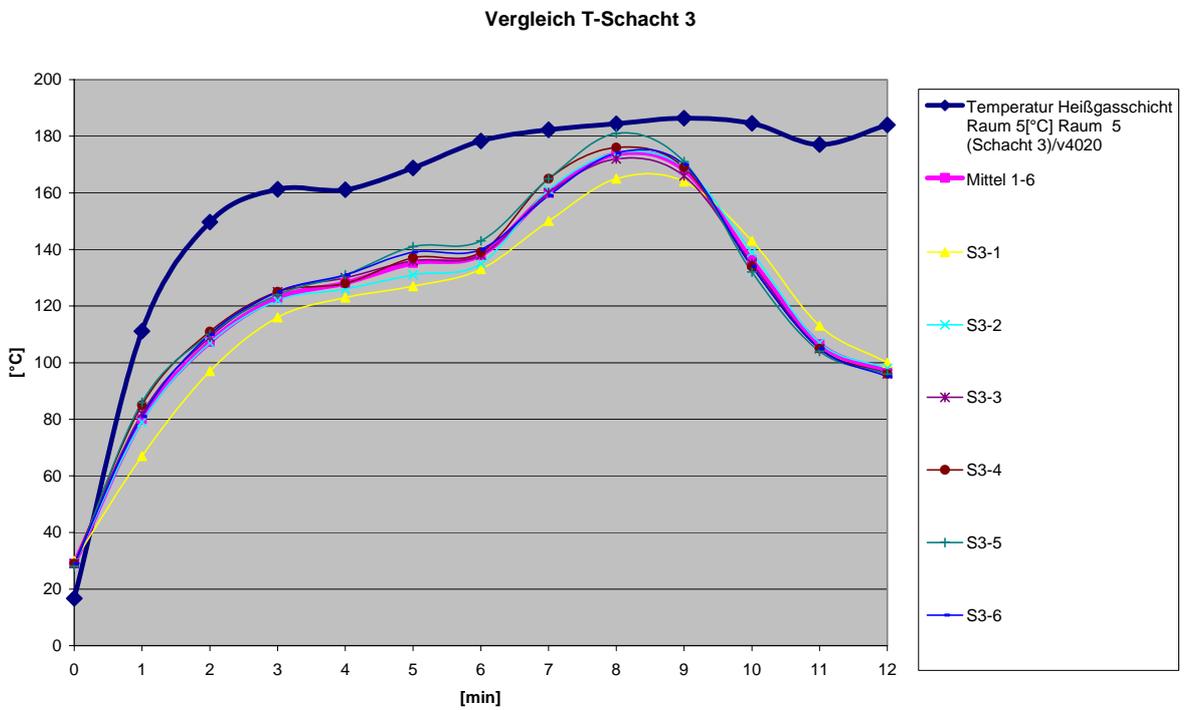


Abbildung 6.11 Vergleich Temperatur Schacht 3 - Lage und Geometrie geändert -

Die Strömung in den Schächten hat sich nicht wesentlich verändert.

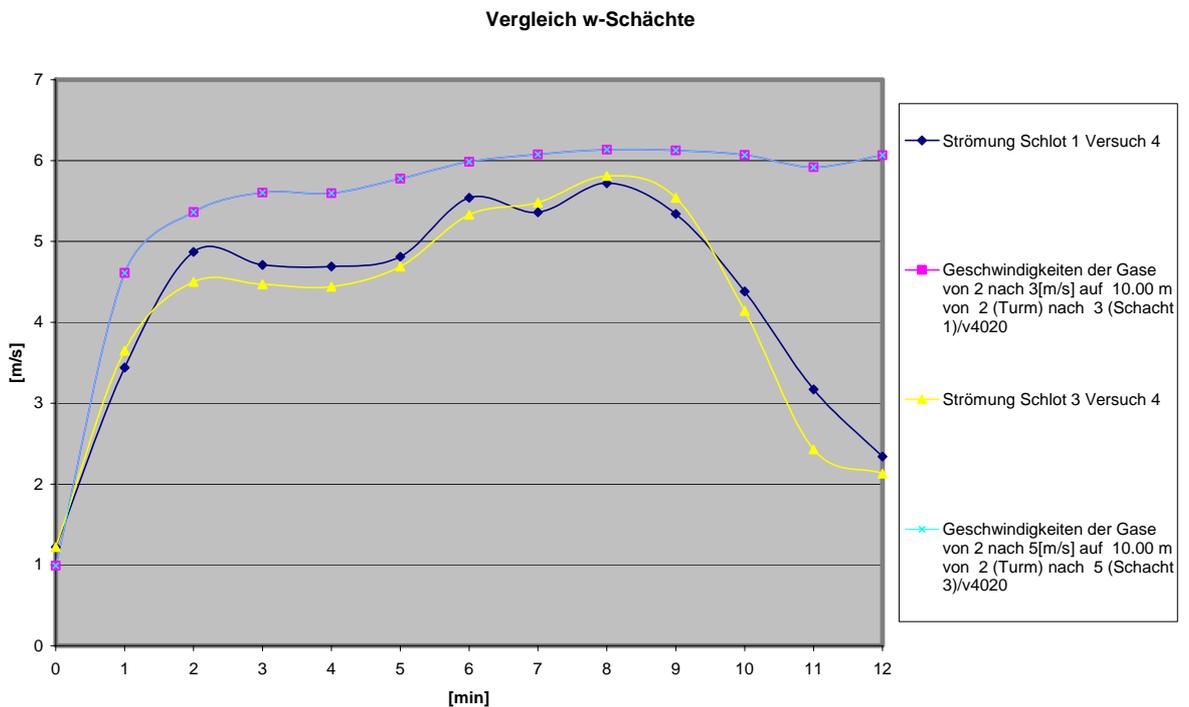


Abbildung 6.12 Vergleich Gasgeschwindigkeiten in den Schächten - Lage und Geometrie geändert -

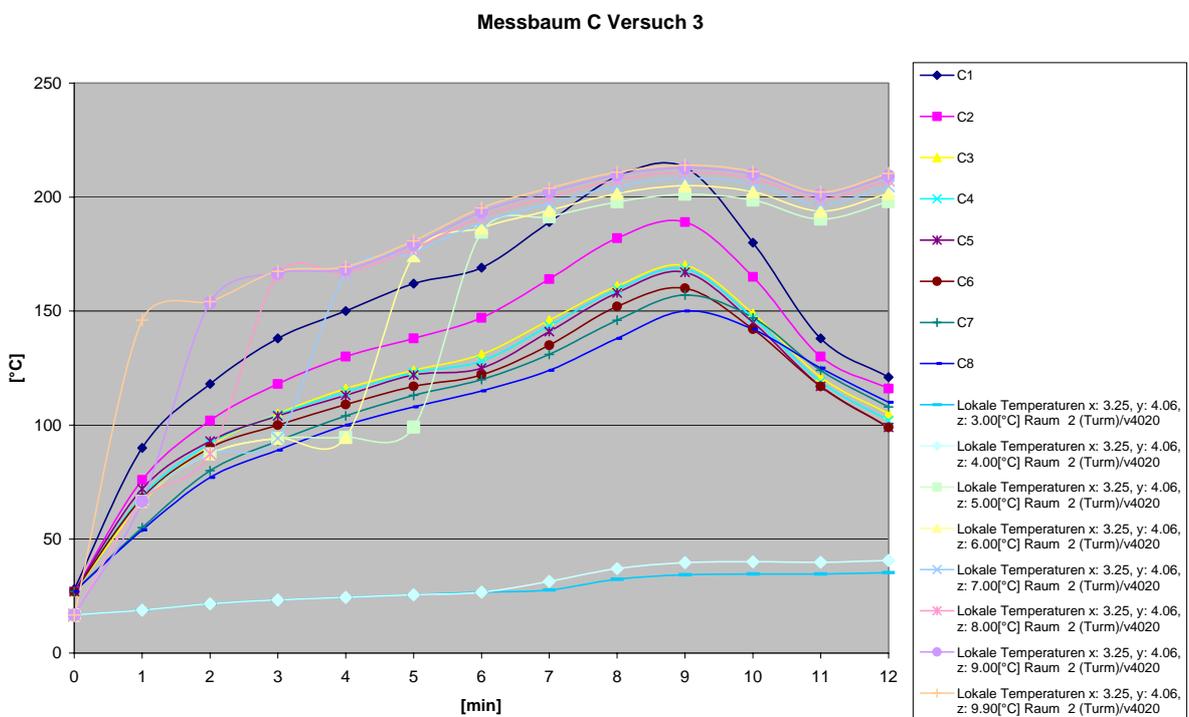


Abbildung 6.13 Vergleich lokale Temperaturmessstellen - Lage und Geometrie geändert -

Die Sauerstoff- und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen blieben in etwa gleich.

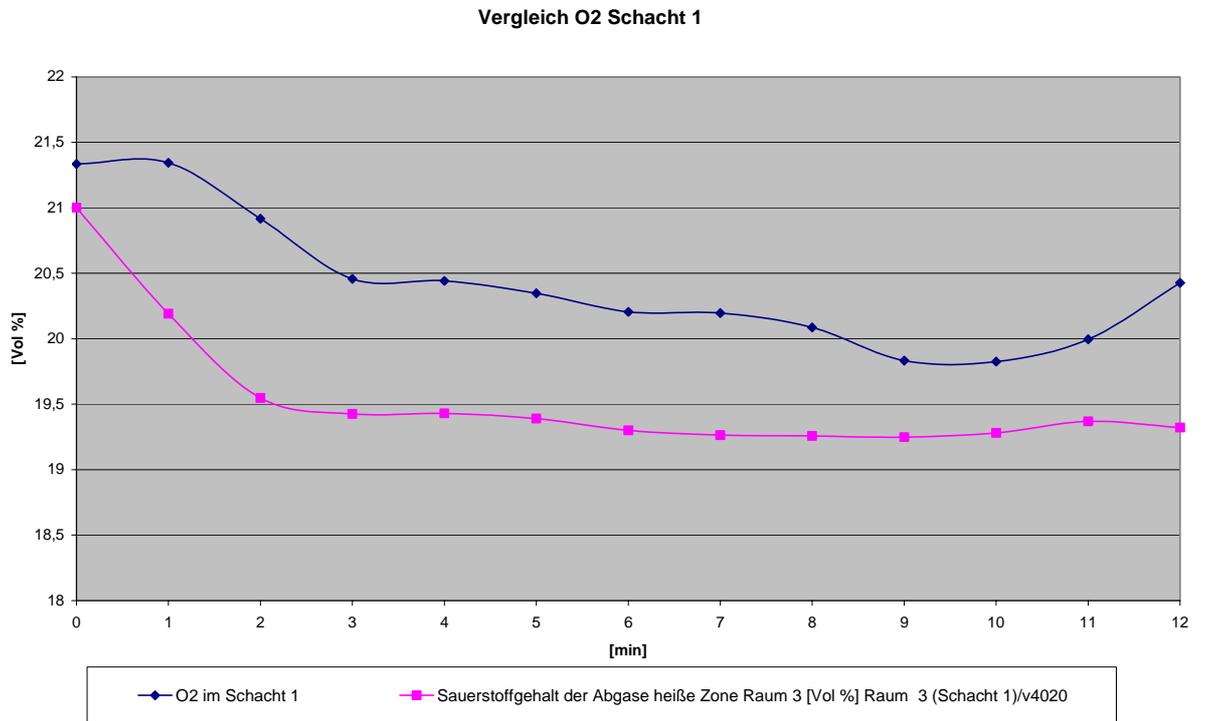


Abbildung 6.14 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1 - Lage und Geometrie geändert -

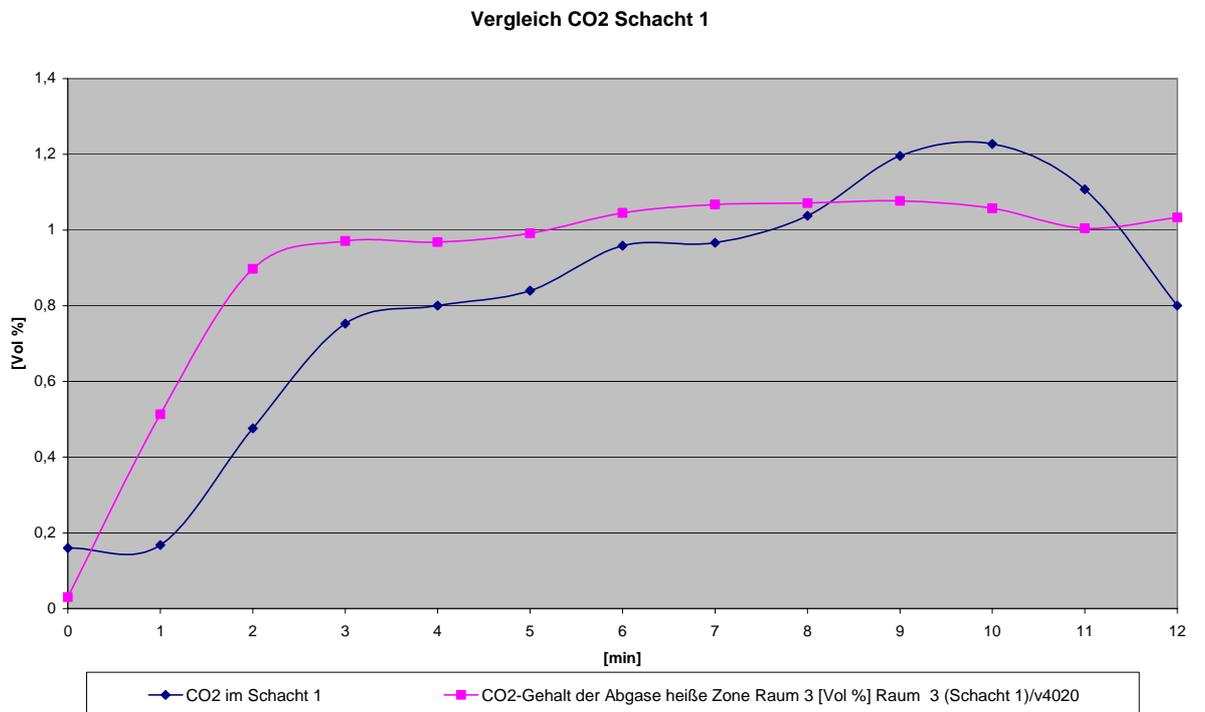


Abbildung 6.15 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1 - Lage und Geometrie geändert -

## 6.5 Einmischung Plume in Brandraum

Die Flamme neigt sich wegen der Zuluft durch das kleine Tor vom diesem weg. In MRFC kann dies aber nicht direkt berücksichtigt werden. Wenn sich die Flamme neigt, verlängert sich diese und es kann demzufolge eine erhöhte Einmischung erfolgen.

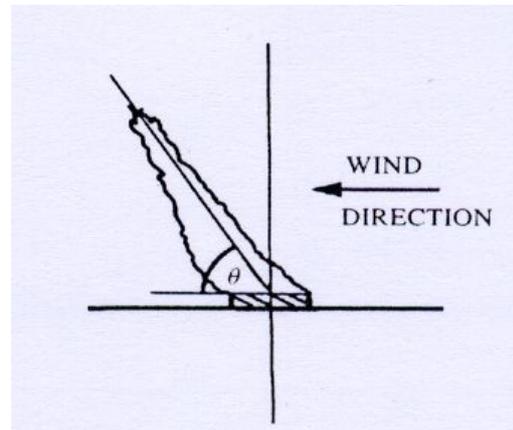
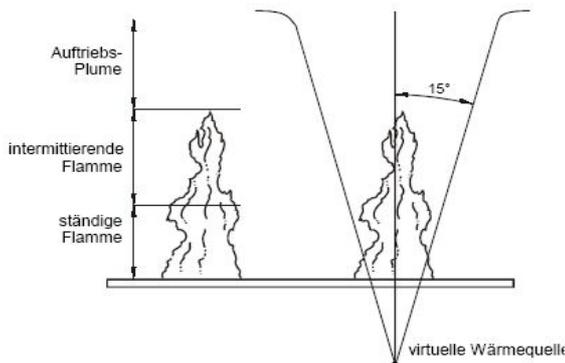


Abbildung 6.16 Flamme und Plume in MRFC (aus [9])

Abbildung 6.17 Plume mit Wind (aus [11])

Die erhöhte Einmischung in den Brandraum kann in MRFC mit dem Einmischungsfaktor gesteuert werden. Wenn es sich um Vergleichsrechnungen handelt wird dieser auf 1,0 gesetzt. Zur Prüfung, ob sich eine Änderung auf die Temperaturen auswirkt, wird der Faktor nun auf 1,2 hochgesetzt. (Für Brandschutznachweise wird der Einmischungsfaktor mit 1,5 angesetzt.) Die in Abschnitt 6.4 „Lage und Geometrie des Brandherdes“ gewählten Änderungen werden für diese Berechnungen wieder in Ansatz gebracht.

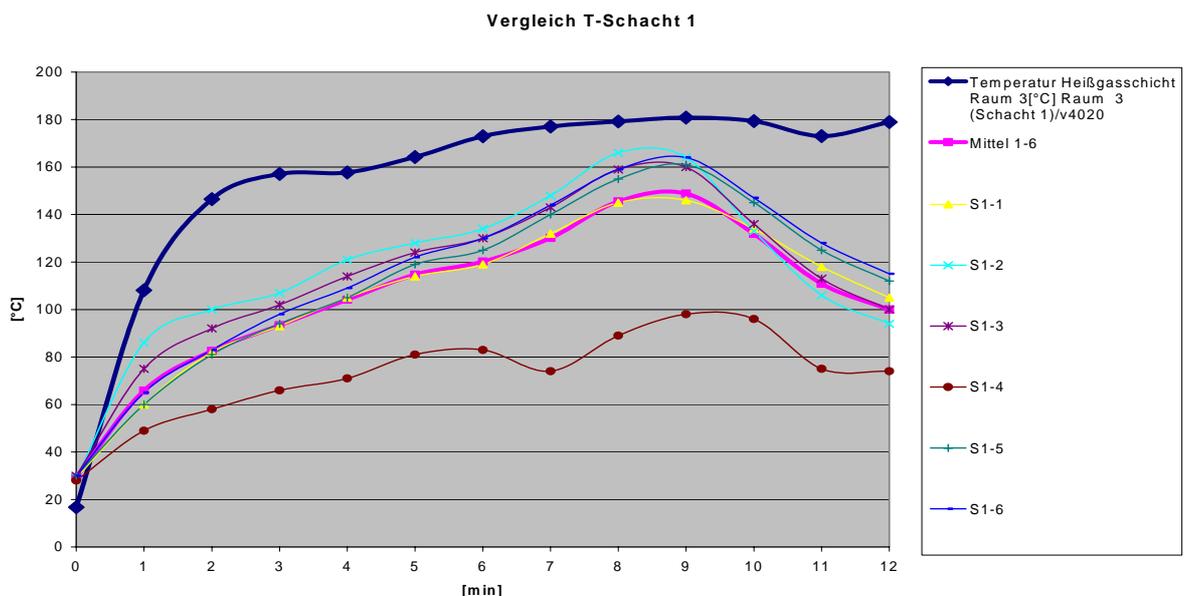


Abbildung 6.18 Vergleich Temperatur Schacht 1 - Einmischfaktor 1,2 -

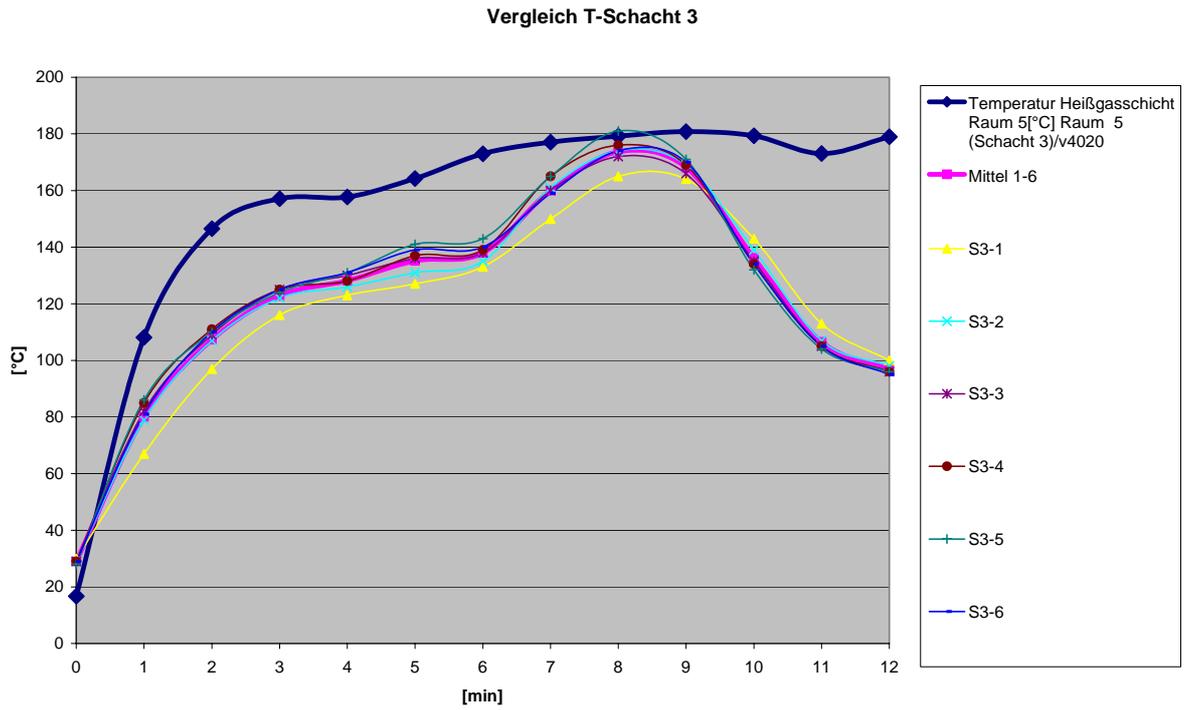


Abbildung 6.19 Vergleich Temperatur Schacht 3 - Einmischfaktor 1,2 -

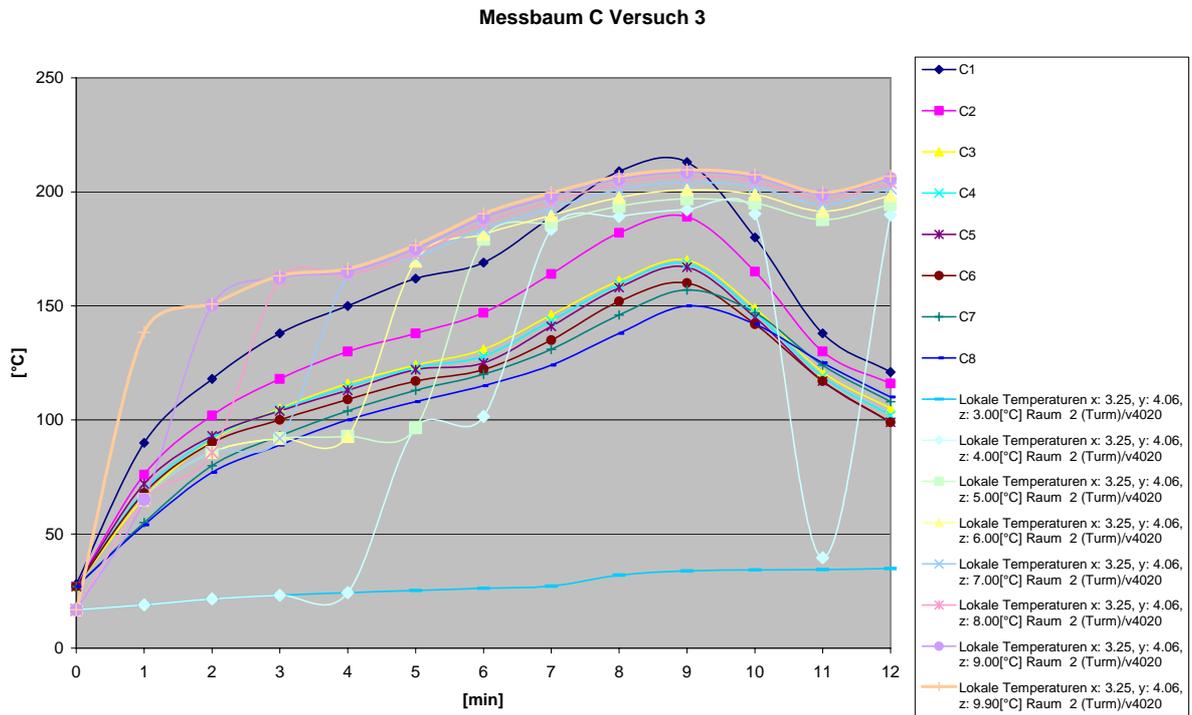


Abbildung 6.20 Vergleich lokale Temperaturmessstellen - Einmischfaktor 1,2 -

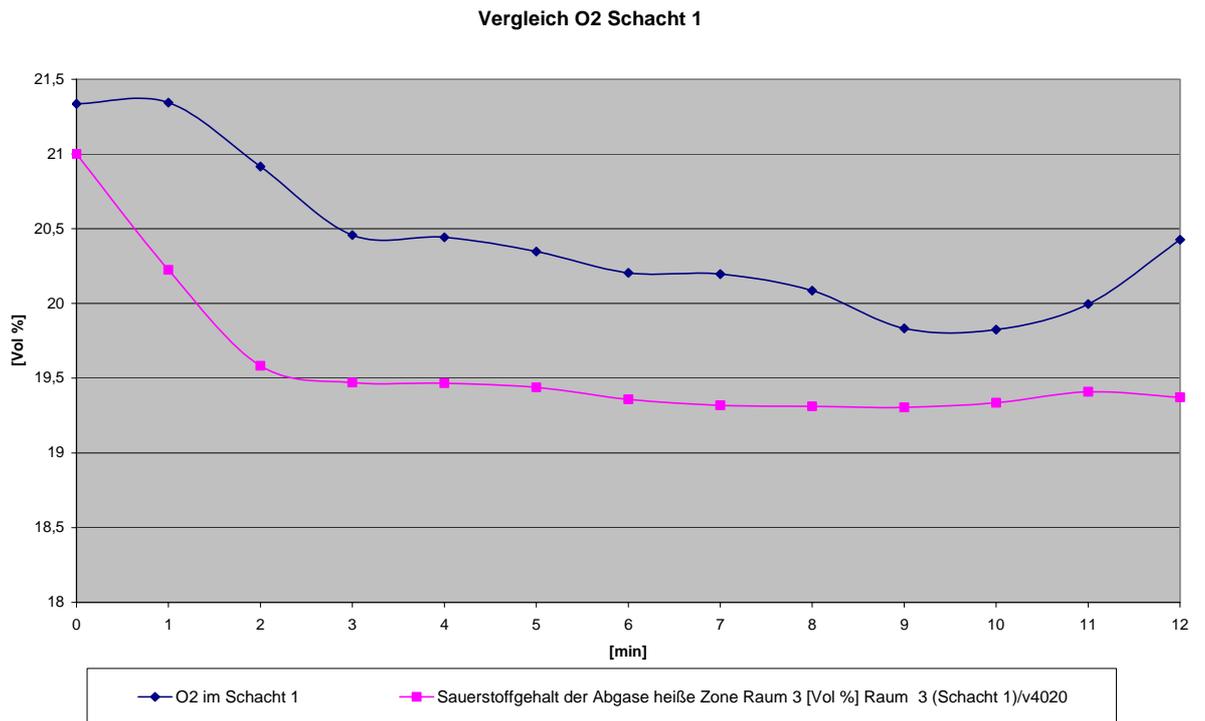


Abbildung 6.21 Vergleich Sauerstoffkonzentration Schacht 1 - Einmischfaktor 1,2 -

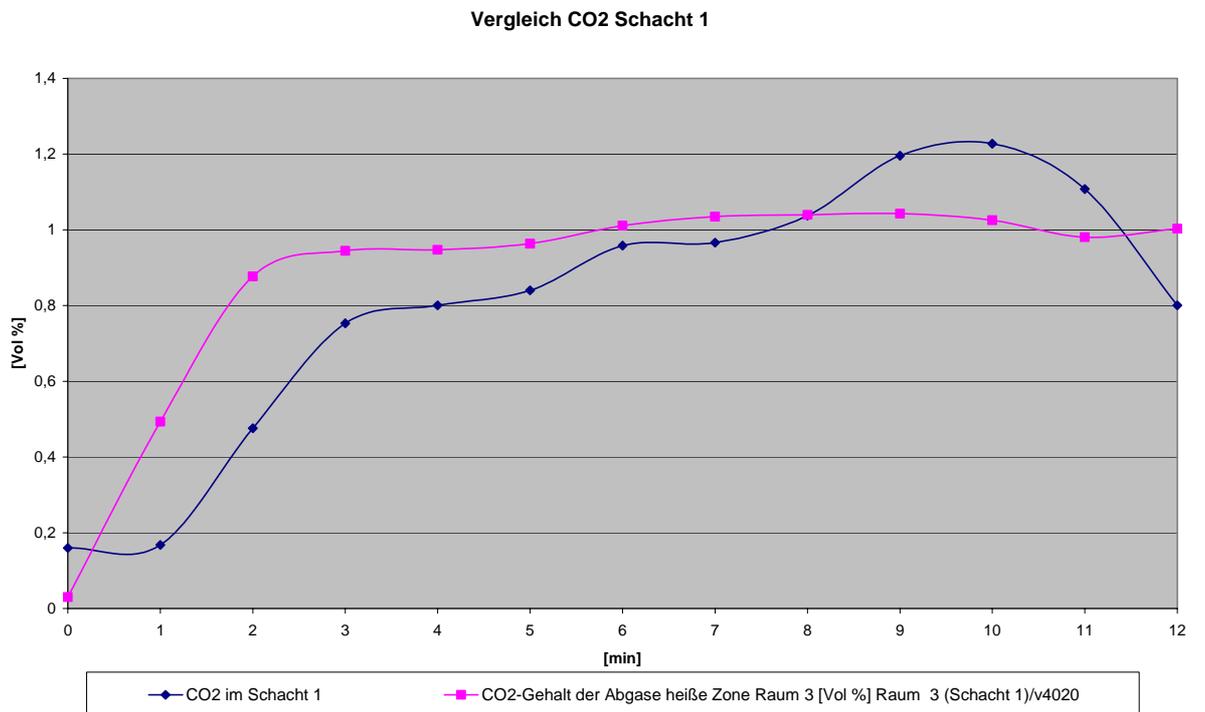


Abbildung 6.22 Vergleich CO<sub>2</sub> Konzentration Schacht 1 - Einmischfaktor 1,2 -

Mit dem Einmischfaktor 1,2 unterscheiden sich die lokalen Temperaturmessstellen nur unwesentlich, wie mit 1,0. Die Temperaturabweichungen der Heißgasschicht wurden

etwas geringer. Der schnelle Anstieg ist aber immer noch vorhanden. Bis zur 8. Minute sind die Abweichungen immer noch zu groß.

## 6.6 Heizwert

Nachdem die Brandleistung bereichsweise angepasst wurde (siehe Abschnitt „Brandleistung“ Seite 106), wird nun über die Abbrandrate der Heizwert von Isopropanol pauschal nur zu 90 % angesetzt, da dieser, gemäß den Erfahrungen von Herrn Dr.-Ing. U. Max, mit 32.000 kJ/kg zu hoch ist.

$$32.000 \text{ kJ/kg} * 0,9 = 28.800 \text{ kJ/kg}$$

Der Einmischfaktor wird jetzt zum Vergleich wieder auf 1,0 gesetzt. Die folgenden Diagramme zeigen, dass die Temperaturdifferenz allgemein nun etwas geringer ist. Die Abweichungen sind nun im Rahmen der Ungenauigkeiten zwischen Realität und Modell. Der zu hohe Anstieg der Temperatur ist aber dennoch vorhanden.

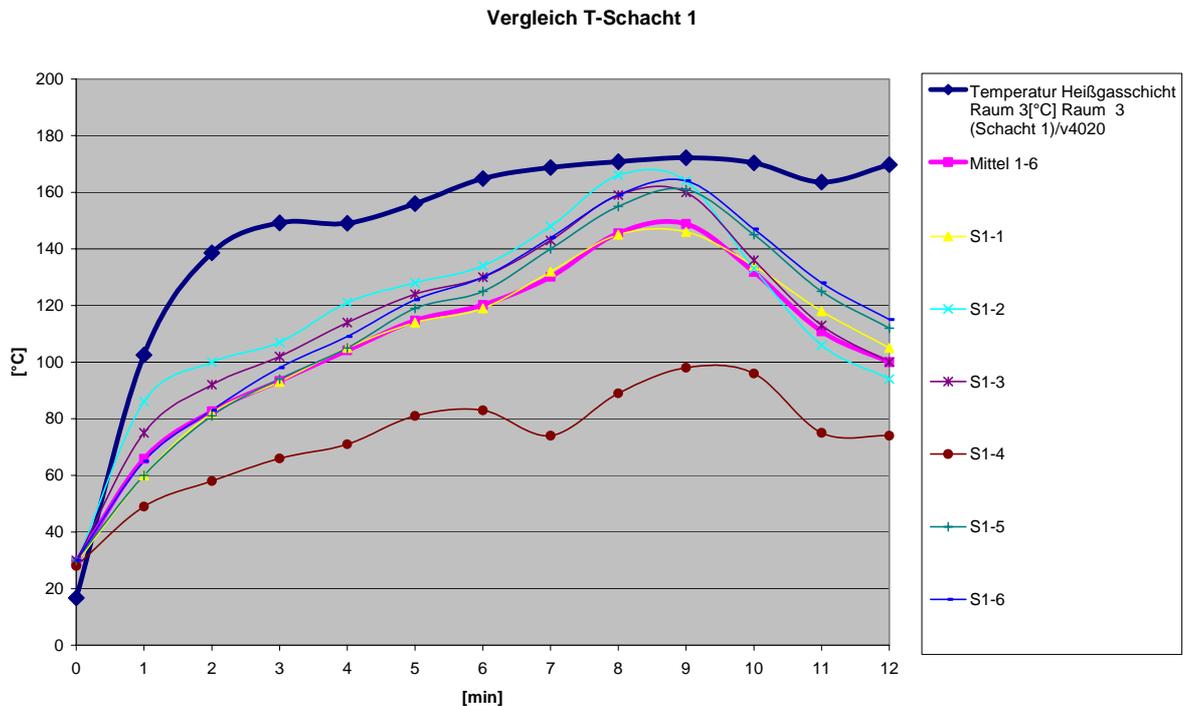


Abbildung 6.23 Vergleich Temperatur Schacht 1 - Heizwert -

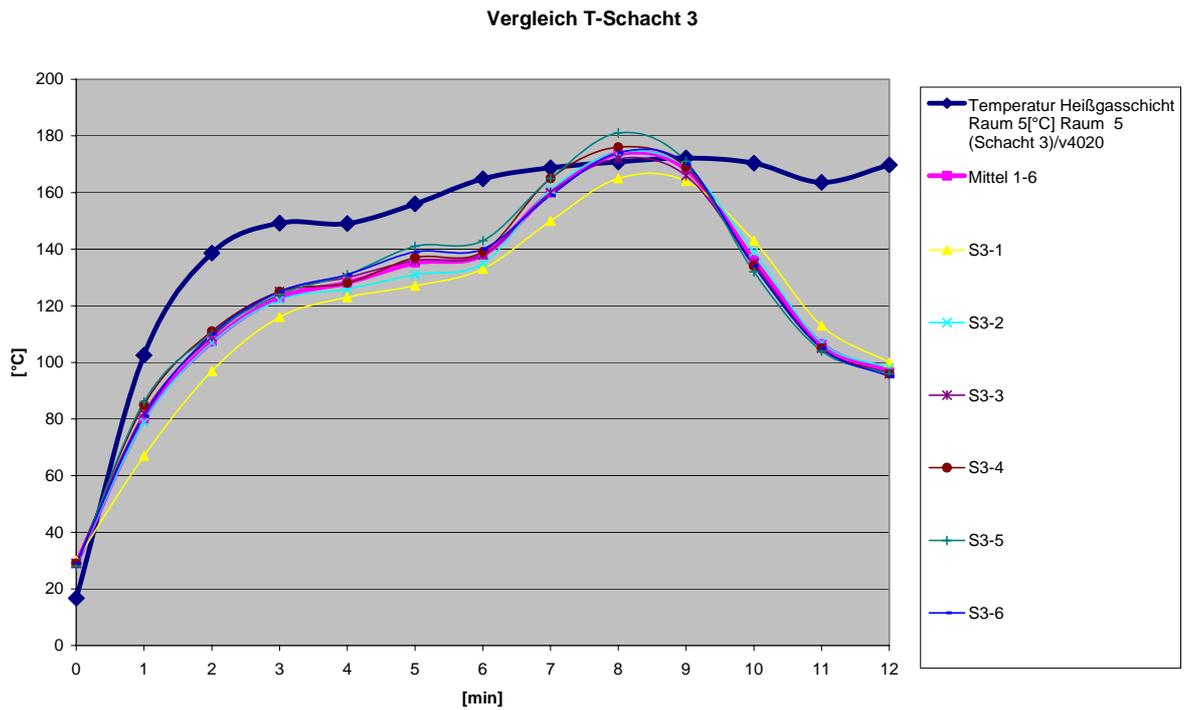


Abbildung 6.24 Vergleich Temperatur Schacht 3 - Heizwert -

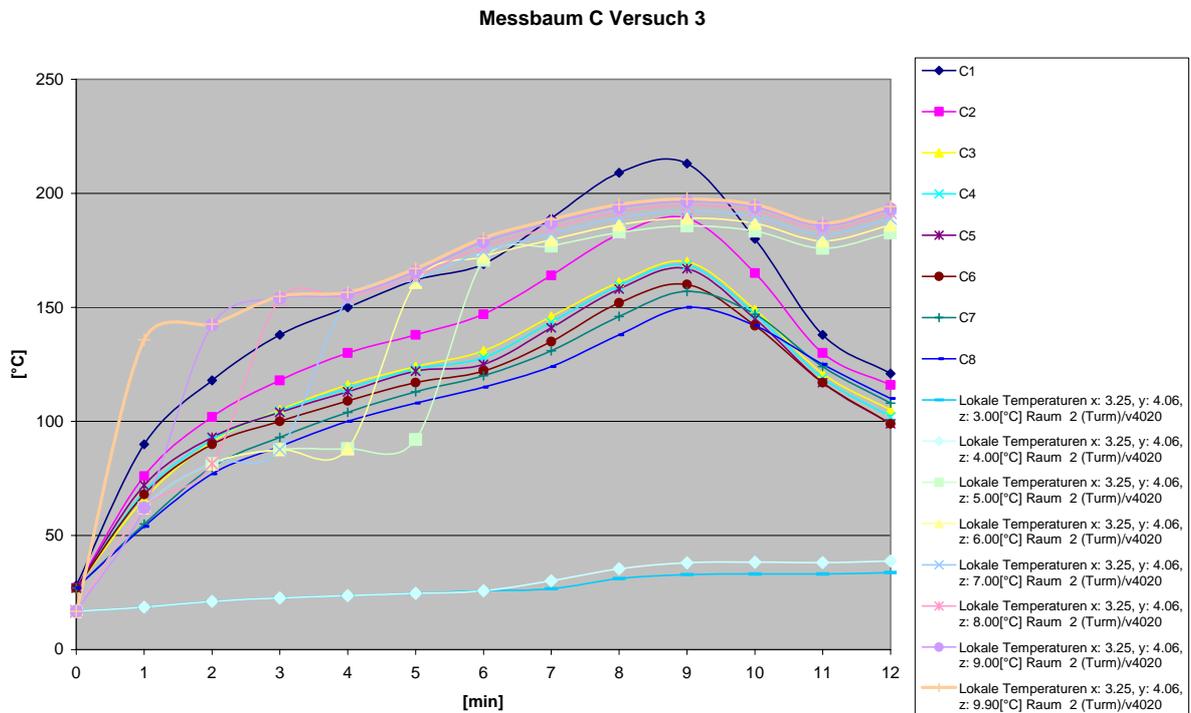


Abbildung 6.25 Vergleich lokale Temperaturmessstellen - Heizwert -

Bei den anderen Diagrammen ergaben sich keine wesentlichen Änderungen. Auf eine ausführliche Darstellung wird deshalb verzichtet.

## 7 Bewertung von Kapitel 5 und Kapitel 6

Die experimentelle Verifikation mit anschließender Feinabstimmung haben gezeigt, dass diese erfolgreich sind. Das Programm Multi-Room-Fire-Code hat Stärken aber auch Schwächen.

- Stärken: es bringt im allgemeinen richtige Ergebnisse. Dies bezieht sich z. B. auf die Höhe der raucharmen Schicht und die mittlere Temperatur in der heißen Schicht.
- Schwächen: Aufgrund der Modellannahmen bei Zonenmodellen können lokale Temperaturen nur durch zusätzliche Hilfsberechnungen errechnet werden. Die Ergebnisse sind daher sehr empfindlich.

Soweit MRFC es dem Benutzer zulässt, die Eingabewerte richtig zu wählen, kann mit einigen Vergleichsrechnungen die Empfindlichkeit des Ergebnisses hinsichtlich der verwendeten Plumeformeln herausgearbeitet werden. Die Anwendungsgrenzen der Plumeformeln sollten bekannt sein. Wenn nun der Anwender verschiedene Brandsimulationen erstellt hat, kann er dann, bei entsprechender Erfahrung, die richtige Vorgehensweise mit den relevanten Einstellungen einsetzen. Für noch unerfahrene bedeutet dies, viele Vergleichsrechnungen erstellen zu müssen und sich mehrere Monate an Grundlagen und Detailwissen zu erarbeiten um dann auch richtige Ergebnisse zu erhalten.

Die vielen „Stellschrauben“ und Veränderungsmöglichkeiten machen MRFC zu einem im Brandschutz vielschichtig einsetzbarem, starken Instrument, bei dem Wissen und Erfahrung zu praktikablen Ergebnissen, Unkenntnis oder Leichtsinn aber auch zu entsprechend verfälschten Ergebnissen führen kann. Für den Normalanwender, das heißt jemanden der keine vertieften Grundkenntnisse besitzt, sollte die Anwendung vorab nur mit den Standard-Werten erfolgen. Die Verifikation mit den voreingestellten Werten ist hinreichend genau, denn man liegt hiermit in der Regel auf der sicheren Seite.

Um alle in Frage kommenden relevanten Einstellungen zu testen und somit noch bessere Anpassungen zu erzielen, würde mit Sicherheit den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen. Mit der Verifikation sollte gezeigt werden, dass MRFC auch bei speziellen Anwendungen gute Ergebnisse erbringen kann. Die Auswahl von Anpassungswerten hat gezeigt, dass ein Hinrechnen an experimentelle Ergebnisse möglich ist. Wie bereits zu Anfang gesagt muss aber immer überprüft werden, ob eine solche Anpassung überhaupt sinnvoll ist. Bei anderen geometrischen Verhältnissen bzw. Brandszenarien können Anpassungen gegebenenfalls aber auch zu schlechteren Ergebnissen führen.

Die Anwendung von Multi-Room-Fire-Code setzt gute Grundlagenkenntnisse, die Kenntnisse der Möglichkeiten von MRFC aber auch dessen Beschränkungen voraus. Die vielfältig möglichen Einflussfaktoren sollten dem Anwender vor einer Simulationsberechnung weitestgehend bekannt sein damit diese möglichst gleich entsprechend berücksichtigt werden können. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, sollte man besser entsprechenden Rat einholen.

## 8 Zusammenfassung & Schlussbewertung

Die normativen Verfahren bilden die Grundlage für die Nachweisführung hinsichtlich baurechtlicher Anforderungen. Für den Brandschutz gilt die jeweilige Landesbauordnung als oberstes Gesetz. Da jedoch der Bereich Industriebau z. B. in der LBO Baden-Württemberg unter § 38 *Gebäude besonderer Art und Nutzung* fällt, muss für Industrieobjekte die Industriebaurichtlinie erfüllt werden.

In der Industriebaurichtlinie sind neben den allgemeinen Anforderungen, wie zum Beispiel die Rettungswegsituation, **3 Nachweisverfahren** geregelt.

1. **Das Näherungsverfahren nach Abschnitt 6,**
2. **das exakte Nachweisverfahren nach Abschnitt 7,**
3. **das Verwenden von Ingenieurmethoden.**

Die Wahl, über den jeweiligen Nachweis obliegt dem Anwender, wobei umso einfacher das Verfahren gewählt wird, meist auch die Ergebnisse konservativer ausfallen. Nach **Abschnitt 6** werden die zulässigen Brandabschnittsflächen aus Tabelle 1 abgelesen. Eine Einteilung in die Sicherheitskategorien K1 bis K4 ist dabei erforderlich. Die Sicherheitskategorie K1 berücksichtigt keine besonderen Maßnahmen für die Brandmeldung und Brandbekämpfung, hingegen berücksichtigt K4 eine selbsttätige Feuerlöschanlage.

Tabelle 8.1 Auszug aus Tabelle 1 der IndBauRL - Zulässige Größe der Brandabschnittsfläche in m<sup>2</sup>

Sicherheitskategorie	Anzahl der Geschosse								
	erdgeschossig		2 geschossig		3 geschossig		4 geschossig	5 geschossig	
	Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile								
	F 0	F 30	F 30	F 60	F 90	F 60	F 90	F 90	F 90
K 1	1.800 <sup>1)</sup>	3.000	800 <sup>2)3)</sup>	1.600 <sup>2)</sup>	2.400	1.200 <sup>2)3)</sup>	1.800	1.500	1.200
K 2	2.700 <sup>1)</sup>	4.500	1.200 <sup>2)3)</sup>	2.400 <sup>2)</sup>	3.600	1.800 <sup>2)</sup>	2.700	2.300	1.800

Das exakte Nachweisverfahren nach **Abschnitt 7** setzt als Grundlage die Berechnung nach DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ voraus. Es muss zuerst eine Brandlastermittlung erfolgen. In der alle brennbaren Baustoffe und Materialien zusammengestellt werden und dann auf die Fläche eine bezogene Brandbelastung  $q_R$  berechnet wird. Mit der berechneten Brandlast  $q_R$ , dem Wärmeabzugsfaktor  $w$  und dem Umrechnungsfaktor  $c$ , welcher die Umfassungsbauteile berücksichtigt, wird die äquivalente Branddauer  $t_{\ddot{a}}$  nach folgender Gleichung berechnet:

$$t_{\ddot{a}} = q_R \text{ [kWh/m}^2\text{]} * c \text{ [min m}^2\text{/(kWh)]} * w \text{ [-]}$$

In der Industriebaurichtlinie wird dann wieder die zulässige Fläche je Geschoss in einem ein- oder mehrgeschossigen Brandbekämpfungsabschnitt aus dem Grundwert für die Fläche von 3.000 m<sup>2</sup> mit den Faktoren F1 bis F5 gemäß Gleichung berechnet:

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 3.000 \text{ m}^2 * F1 * F2 * F3 * F4 * F5$$

Die Faktoren F1 bis F5 berücksichtigen die äquivalente Branddauer  $t_{\ddot{a}}$ , die brandschutztechnische Infrastruktur, die Höhenlage des Fußbodens, die Anzahl der Geschosse und die Ausführung der Öffnungen in den Zwischendecken. Die erforderliche Feuerwiderstandsklassen der Bauteile wird über die erforderliche Feuerwiderstandszahl  $t_F$  nach DIN 18 230 berechnet.

Alternativ kann in Abschnitt 7 die zulässige Größe der Brandabschnitte für erdgeschossige Industriebauten nach Tabelle 9 ohne Anforderungen an die Bauteile erfolgen.

Tabelle 8.2 Tabelle 9 IndBauRL - Zulässige Größe der Flächen von Brandbekämpfungsabschnitten

Sicherheitskategorie	äquivalente Branddauer $t_{\ddot{a}}$ [min]			
	15	30	60	90
K 1	9.000	5.500	2.700	1.800
K 2	13.500	8.000	4.000	2.700
K 3.1	16.000	10.000	5.000	3.200
K 3.2	18.000	11.000	5.400	3.600
K 3.3	20.700	12.500	6.200	4.200
K 3.4	22.500	13.500	6.800	4.500
K 4 <sup>1)</sup>	30.000	20.000	10.000	10.000
Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen nach DIN 18230-1 [%]	1	2	3	4
Zulässige Breite des Industriebaus [m]	80	60	50	40

Ebenso regelt die Industriebaurichtlinie auch den Rauchabzug von Gebäuden. Bei Einzelflächen von mehr als 1.600 m<sup>2</sup> muss eine ausreichende Rauchableitung verfügbar sein, damit eine Brandbekämpfung möglich ist. Nach IndBauRL ist eine ausreichende Brandbekämpfung möglich, wenn zur Brandbekämpfung eine raucharme Schicht mit mindestens 2,5 m Höhe rechnerisch nachgewiesen wird.

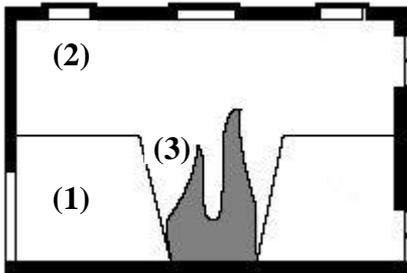
Dieser Nachweis kann mit der DIN 18 232 „Rauch- und Wärmefreihaltung“ erfolgen. Es kann derzeit zwischen Teil 2 Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA) und Teil 5 Maschinelle Rauchabzüge (MRA) gewählt werden.

Im Anhang der IndBauRL steht, dass mit Ingenieurmethoden der Nachweis ebenfalls erbracht werden kann. Die **Ingenieurmethoden** werden unterschieden in folgende unterschiedliche Arten von Rechenmethoden:

- Analytische Methoden
- Brandsimulationsmodelle
  - Zonenmodelle,
  - Feldmodelle,
  - Systemcodes.

Die analytischen Methoden haben, gegenüber den Brandsimulationsmodellen einen wesentlichen Nachteil. Sie können Zustände nur zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnen.

Das verwendete Zonenmodell Multi-Room-Fire-Code (MRFC) basiert auf vereinfachten thermodynamischen Modellen, die der Realität angenähert sind. Die Räume werden in bis zu drei Zonen unterteilt, die kalte raucharme Schicht (1), die Heißgasschicht (2) und der Plumbereich (3).



Die das Brandgeschehen beschreibenden Größen (Temperatur, Brandrauchmenge, Brandrauchschichtdicken, usw.) werden iterativ für jeden Zeitschritt berechnet.

Abbildung 8.1 Skizze Zonen (aus [9])

Mit den Berechnungen des Objektbeispiels „**Versuchshalle**“ werden die normativen Verfahren und die Ingenieurmethode Brandsimulation mit MRFC verglichen. Als Ausgangswert wird eine 3.200 m<sup>2</sup> große und 7 m hohe Industriehalle gewählt. Bei den Berechnungen nach DIN 18 232-2 „Rauch- und Wärmefreihaltung“ wird eine raucharme Schichthöhe von 4,0 m vorausgesetzt. (Der Abstand zu den Toren mit 3,0 m Höhe muss mindestens 1,0 m betragen). Nach DIN 18 232-2 ist eine Rauchschräge erforderlich, um die Fläche in maximal 1.600 m<sup>2</sup> große Abschnitte zu unterteilen. Die aerodynamisch erforderliche wirksame Öffnungsfläche wird nach DIN zu 8 m<sup>2</sup> je Rauchabschnitt berechnet. Das heißt in der ganzen Halle sind 16 m<sup>2</sup> NRA-Fläche im Dach für die Rauchfreihaltung der 4,0 m notwendig und gleichmäßig alle 200 m<sup>2</sup> zu verteilen. Mit MRFC sind verschiedene Berechnungen erfolgt. Zuerst ist die maßgebende Konstellation errechnet und dann die Schichthöhe iterativ berechnet worden. Als Ergebnis sind zwei unterschiedliche Möglichkeiten, für die Ausführung mit der Einhaltung der Schichtgrenze, gegeben.

<b>Variante 1 mit einer Rauchschräge (Berechnung nach DIN 18232-2):</b>	<b>Variante 2 ohne Rauchschräge (Berechnung mit MRFC):</b>
1. Einbau von $A_w = 8 \text{ m}^2$ je Hallenhälfte.	1. Einbau von $A_w = 8 \text{ m}^2$ (7,4 m <sup>2</sup> ) in gesamter Halle.
2. Einbau einer Rauchschräge von mind. 3,5 m Höhe.	2. Sicherstellung, dass beim Brand alle NRA-Geräte geöffnet werden.
3. Zuluftöffnungen sichergestellt.	3. Zuluftöffnungen sichergestellt.

Der klare Vorteil der Brandsimulationsergebnisse liegt darin, dass hier gegebenenfalls auf eine Rauchschräge verzichtet werden kann. Ebenso, dass nur 8 m<sup>2</sup> NRA-Fläche in der gesamten Halle, d. h. nur die Hälfte gegenüber den Berechnungen nach DIN 18 232,

einzubauen sind. Dies ist gegenüber der DIN ebenfalls eine Erleichterung. Der große Vorteil, dass der Rauch nur in dem Hallenbereich bleibt, in dem ein Brand herrscht, ist aber ohne eine Rauchschrürze nicht mehr gegeben. Somit können Instandsetzung und Produktionsausfall deutlich höhere Kosten verursachen als der einmalige Einbau einer Rauchschrürze. Versicherungstechnische Fragen in Bezug auf das Objekt und auch innerbetriebliche Abläufe können für die Entscheidung, ob eine Rauchschrürze ausgeführt wird oder nicht, maßgebend sein.

Um nicht nur den Vergleich zwischen Brandsimulation und DIN 18232-2 bei fester Grundfläche zu erstellen, sind für verschiedene Größen die hieraus notwendigen NRA-Flächen berechnet worden. Aus diesen Berechnungen ergab sich, dass die DIN je größer die Grundfläche wird, umso konservativer die notwendigen Öffnungsflächen berechnet werden. Mit MRFC kann zum Teil mit nur 35 % der nach DIN benötigten Flächen der Nachweis für eine 4,0 m hohe raucharme Schicht erbracht werden. Neben dem Diagramm auf Seite 44 kann für eine längliche Halle mit der Funktion:

$$y = 8E-16x^4 - 4E-11x^3 + 6E-07x^2 - 0,00085x + 8,3224$$

die erforderliche NRA-Fläche hinreichend genau beschrieben werden. (Die Variable  $x$  = Hallengröße;  $y$  = erforderliche aerodynamische Fläche).

Die **Verifikation** von MRFC ergab, dass das Brandsimulationsprogramm Stärken, aber auch Schwächen aufweist. Negativ ist anzumerken, dass es bei der Berechnung von lokalen Temperaturen im Bereich des Plumes empfindlich reagiert. Wenn aber die Messstelle nicht direkt im Plume ist, stimmen die berechneten Ergebnisse mit den gemessenen hinreichend genau überein. Es ist positiv zu bewerten, dass MRFC im allgemeinen richtige Ergebnisse bringt. Das Programm wurde entwickelt, um Brandgeschehen zu simulieren und nicht um technische Problemstellungen zu lösen. Die Übereinstimmung mit tatsächlichen Messergebnissen konnte auch anhand anderweitig durchgeführter Versuche nachgewiesen werden.

### Schlussbewertung

Bei Brandsicherheitsnachweisen sind die normativen Verfahren, nach einer entsprechenden Einarbeitungszeit, einfacher und auch schneller als Berechnungen mit Ingenieurmethoden anzuwenden. Um ein Brandsimulationsprogramm richtig bedienen zu können, ist es nicht ausreichend das Programm nur einfach mit Eingabewerten zu füttern, vielmehr muss der Anwender die Grundlagen des Berechnungsprogramms kennen und eine geraume Zeit damit arbeiten. Dieses Wissen muss er schon bei der Auswahl der Raumgeometrie berücksichtigen. Ist dann später das Designfire festzulegen, sollte er dieses wiederum entweder aus eigener Erfahrung oder auf Rat eines Brandschutzingenieurs hin auswählen können. Die Eingabe des richtigen Designfires setzt jedoch eine umfangreiche Erfahrung voraus. Die richtige Wahl ist entscheidend für das Ergebnis.

Die Untersuchung einer Problemstellung, zum Beispiel die Höhe der raucharmen Schicht, benötigt immer verschiedene Variablen in der Berechnung. Es liegt anschließend am Bediener oder Ingenieur das Ergebnis richtig zu bewerten.

Die normativen Verfahren, welche benötigt werden um schutzzielorientierte Brandschutzkonzepte zu erstellen, sind da in ihrer Anwendung wesentlich einfacher. Hier kann davon ausgegangen werden, dass, wenn die Norm oder Richtlinie in ihrer Form richtig angewandt werden, auch die Ergebnisse richtig sind. Jedoch sind diese mehr oder weniger konservativ und es können sich daher gegebenenfalls unwirtschaftlichere Lösungen ergeben.

Im Zuge meiner Diplomarbeit habe ich mich intensiv mit MRFC beschäftigt. Es ist dennoch zu erwähnen, dass das Programm, wenn auch selten, bei der Berechnung nicht zu Ende rechnet, ohne dass man sofort erkennt weshalb dies der Fall ist. Für die Anwendung in der Praxis ist es ausgereift – sofern die Grenzen für dessen Anwendung bekannt sind. Es reicht jedoch sicherlich nicht aus nur ab und an mit dem Programm zu arbeiten. Es fehlt dann die Routine und die daraus resultierende Erfahrung.

Die Visualisierung und Auswertung kann mit Diagrammen oder auch mit 3D-Grafikdarstellungen erfolgen. Für eine 4.800 m<sup>2</sup> große und 7 m hohe Halle ist im folgendem Bild die Temperatur- und Rauchgasverteilung zum Zeitpunkt  $t = 30$  min dargestellt.

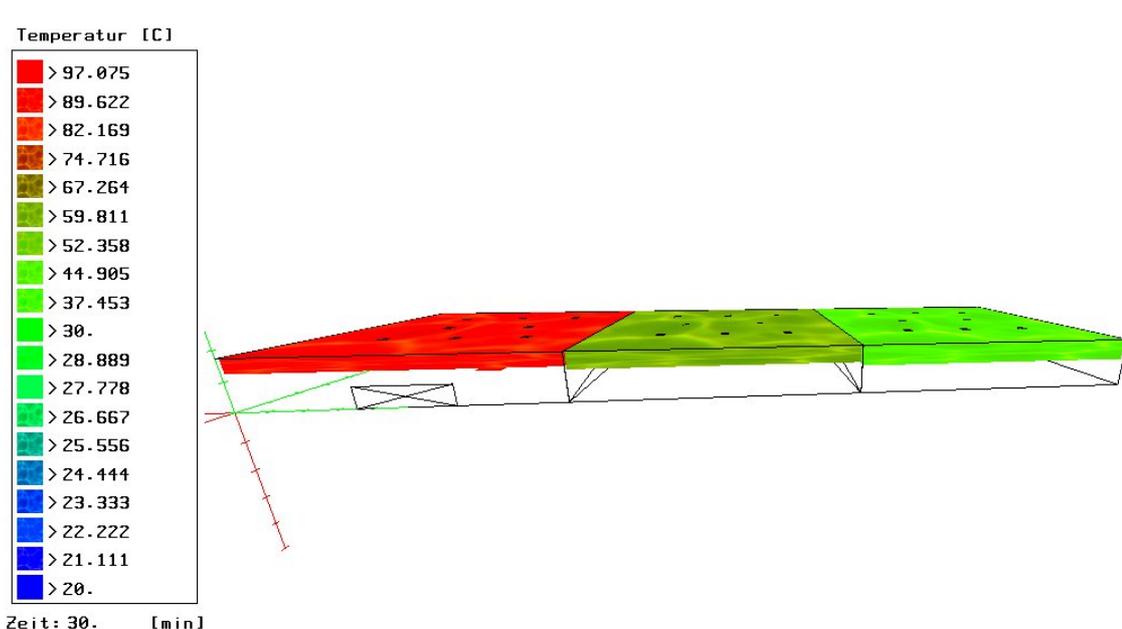


Abbildung 8.2 Darstellung von Temperatur- und Rauchgasverteilung mit MRFC-MultiView erstellt.

Diese Diplomarbeit hatte die Aufgabe die normativen Verfahren und die Ingenieurmethoden (Brandsimulation mit MRFC) aufzuzeigen, gegenüberstellen und überprüfen. An Hand von verschiedenen Berechnungen mit dem Beispiel „Versuchshalle“, der Untersuchung der erforderlichen NRA-Fläche bezogen auf die Grundfläche und der Verifikation von MRFC bearbeitete ich verschiedene Themenbereiche. Um ein vertieftes Wissen zu erlangen bleibt es nicht aus, sich stetig weiterzubilden. Der Bereich Brandschutz wird ständig weiterentwickelt und gewinnt immer mehr an Bedeutung.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Schneider, Ulrich; und 5 Mitautoren: *Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz*. 3., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Band 531, Verlag Expert, 2004.
- [2] Statistisches Bundesamt Deutschland [online], erhältlich im Internet unter [http://www.destatis.de/themen/d/thm\\_bevoelk.php](http://www.destatis.de/themen/d/thm_bevoelk.php)
- [3] Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO), Fassung Oktober 2003.
- [4] Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebaurichtlinie –IndBauRL), Fassung März 2000.
- [5] Erläuterungen zur Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Erl MIndBauRL), Fassung März 2000.
- [6] DIN 18230-1, Ausgabe Mai 1998: *Baulicher Brandschutz im Industriebau*, Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer.
- [7] DIN 18232-2, Ausgabe Juni 2003: *Rauch- und Wärmefreihaltung*, Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA) Bemessung, Anforderungen und Einbau.
- [8] Beuth-Kommentare: *Baulicher Brandschutz im Industriebau*: Kommentar zu DIN 18230, 2. erweiterte Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin 1999.
- [9] Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit (AGB): *Referenzhandbuch für MRFC* (Multi-Room-Fire-Code), Version 2.8, Bruchsal/Wien 2000.
- [10] Duden-Lexikon [online], im Internet unter <http://www.duden.de/>
- [11] Drysdale, Dougal: *An Introduction to Fire Dynamics*, Second Edition, Verlag John Wiley & Sons, New York 1999.
- [12] Bauen mit Stahl [online]: *Überblick über die neue Industriebaurichtlinie*, erhältlich im Internet unter <http://www.bauen-mit-stahl.de>
- [13] Reick, Michael: *Manuskript zur Vorlesung „Brandschutz“ an der FH-Biberach*, Ausgabe Wintersemester 2003/2004.

## 10 Anhang

### 10.1 Begriffe

Abbrandfaktor $m$ :	Dimensionsloser Beiwert, mit dem die Brandlast aus einem Stoff oder Stoffgemisch zur Berücksichtigung ihres Brandverhaltens in bestimmter Form, Verteilung, Lagerungsdichte und Feuchte bei der Rechnung nach DIN 18230-1 zu multiplizieren ist.
Äquivalente Branddauer $t_{\text{ä}}$ :	Zeit in Minuten, bei der im betrachteten Bauteil im Normbrand (ETK nach DIN 4102-2) näherungsweise dieselbe Wirkung (z.B. Temperatur) erreicht wird wie im natürlichen Schadenfeuer.
$A_w$ :	Aerodynamisch wirksame Öffnungsfläche ist das Produkt aus geometrischer Öffnungsfläche $A_g$ in $\text{m}^2$ der NRA und dem Durchflussbeiwert $c_v$ mit Berücksichtigung des Seitenwindeinflusses.
Beiwert $\delta$ :	Dimensionsloser Beiwert, der die mit zunehmender Fläche größer werdende Auftretenswahrscheinlichkeit von Bränden und die bei mehrgeschossigen Gebäuden schwierigere Brandbekämpfung bei der Bemessung der Bauteile der Brandsicherheitsklasse $SK_{b2}$ und $SK_{b1}$ berücksichtigt.
Brandabschnitt:	Bereich eines Gebäudes zwischen seinen Außenwänden und den Wänden, die als Brandwände über alle Geschosse ausgebildet sind.
Brandbekämpfungsabschnitt (BBA):	Gegenüber anderen Gebäudebereichen brandschutztechnisch abgeschlossener, ein- oder mehrgeschossiger Gebäudebereich mit der Fläche $A_B$ und besonderen Anforderungen an Wände und Decken, die diesen BBA zuverlässig begrenzen.
Brandschutzklassen:	Klassierungsstufen zur Festlegung von bauordnungsrechtlichen Anforderungen an den Brandschutz. Die werden durch den globalen Nachweis in Abhängigkeit von der rechnerisch erforderlichen Feuerwiderstandsdauer für die Bauteile

	der Brandsicherheitsklasse $SK_b 3$ festgelegt.
Brandsicherheitsklassen $SK_b$ :	Klassifizierungsstufen zur Bewertung unterschiedlich hoher Anforderungen an die Funktion Standsicherheit und/oder Raumabschluss von Bauteilen im Brandfall.
Globaler Nachweis:	Nachweisverfahren zur Festlegung der Brandschutzklasse des jeweiligen Brandbekämpfungsabschnittes mit gemittelten rechnerischen Brandbelastung und mit den auf den gesamten Brandbekämpfungsabschnitt bezogenen Wärmeabzugsflächen.
Industriebauten:	Industriebauten sind Gebäude oder Gebäudeteile im Bereich der Industrie und des Gewerbes, die der Produktion (Herstellung, Behandlung, Verwertung, Verteilung) oder Lagerung von Produkten oder Gütern dienen.
Kombinationsbeiwert $\psi_i$ :	Dimensionsloser Beiwert, der das Brandverhalten geschützter Stoffe berücksichtigt.
Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer $t_{F, erf}$ :	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer in Minuten unter Berücksichtigung der rechnerischen Brandbelastung $q_R$ (Wärmeabzugsfaktor $w$ ), der brandschutztechnischen Infrastruktur (Zusatzbeiwert $\alpha_L$ ) und der Einstufung des Bauteils in die jeweilige Brandsicherheitsklasse $SK_b$ (Sicherheitsbeiwert $\gamma$ , Beiwert $\delta$ ).
Rechnerische Brandbelastung $q_R$ :	Rechenwert für die im Brandfall freigesetzte Wärmemenge bezogen auf die jeweils anzusetzende Bezugsfläche.
Sicherheitsbeiwert $\gamma$ :	Dimensionsloser Beiwert, der die mit zunehmender Fläche größer werdende Wahrscheinlichkeit von Bränden und die bei mehrgeschossigen Gebäuden schwierigere Brandbekämpfung bei der Bemessung der Bauteile der Brandsicherheitsklasse $SK_b 3$ berücksichtigt.
Umrechnungsfaktor $c$ :	Faktor zur Bestimmung der äquivalenten Branddauer der rechnerischen Brandlast unter Berücksichtigung des Wärmeabflusses durch die Umfassungsbauteile.
Werkfeuerwehr:	Werkfeuerwehr im Sinne der IndBauRL ist eine

nach Landesrecht anerkannte Werksfeuerwehr, die jederzeit in spätestens 5 Minuten nach ihrer Alarmierung die Einsatzstelle erreicht; Einsatzstelle ist die Stelle des Industriebaus, von der aus vor Ort erste Brandbekämpfungsmaßnahmen vorgetragen werden.

Zusatzbeiwert  $\alpha_L$ :

Dimensionsloser Beiwert, der den Einfluss der brandschutztechnischen Infrastruktur (Werksfeuerwehr, Löschanlage, Brandmeldeanlage) auf die Wahrscheinlichkeit eines vollentwickelten Brandes (Schadenfeuers) berücksichtigt.

## 10.2 Berechnungen Versuchshalle

### 10.2.1 Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung $q_R$

$$q_R = q_{R,u} + q_{R,g} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,u} = \frac{\text{Summe}( M_i * H_{ui} * m_i )}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

$$q_{R,g} = \frac{\text{Summe}( M_i * H_{ui} * m_i * \psi_i )}{A_B} \text{ in kWh/m}^2$$

#### 10.2.1.1 Zusammenstellung rechnerischer Brandbelastung $q_{R,u}$

Nr.	Lfd. Nr.	brennbarer Stoff	Art des Stoffes	Einzel	Einheit	Anzahl	Anteil	brennbare Stoffe kg	unterer Heizwert kWh/kg	Lagergut-höhe m	Lagergut-höhe maßg. m	m-Faktor bis 4,5 m	m-Faktor maßg.	$\psi$	bewertete Brandlast kWh	%
1.1.1.	1	Holz	an Transportwagen	5,0 kg	2	1,00	10	4,8		4,0	0,8	0,80	1,0	38	0,0%	
1.1.1.	2	Holz	an Gitterboxen	5,0 kg	23	1,00	115	4,8		4,0	0,8	0,80	1,0	442	0,2%	
4.8.1.	3	ABS	Zwischenlagen	9,0 kg	34	1,00	306	9,9		4,0	0,9	0,90	1,0	2.726	1,0%	
1.1.1.	4	Holz	Europaletten	25,0 kg	25	1,00	625	4,8		4,0	0,8	0,80	1,0	2.400	0,8%	
4.7.2.	5	Polyethylen	Abfallbehälter	10,0 kg	12	1,00	120	12,2		4,0	0,8	0,80	1,0	1.171	0,4%	
1.2.	6	Spanplatten	an Regalen	1,0 kg	250	1,00	250	4,8		4,0	0,2	0,20	1,0	240	0,1%	
	7	pauschal	Schaltchränke	50,0 kg	75	1,00	3750	4,0		4,0	1,0	1,00	1,0	15.000	5,2%	
	8	pauschal	E-Motoren	100,0 kg	5	1,00	500	5,0		4,0	1,0	1,00	1,0	2.500	0,9%	
2.2.3.	9	Karton	Verpackungen	1,0 kg	250	1,00	250	4,2		4,0	0,4	0,40	1,0	420	0,1%	
2.2.4.	10	Karton	Behälter leer	1,0 kg	75	1,00	75	4,2		4,0	1,8	1,80	1,0	567	0,2%	
1.1.1.	11	Holz	Europaletten	25,0 kg	11	1,00	275	4,8		4,0	0,8	0,80	1,0	1.056	0,4%	
1.1.1.	12	Holz	an Gitterboxpaletten	1,0 kg	125	1,00	125	4,8		4,0	0,8	0,80	1,0	480	0,2%	
2.2.3.	13	Karton	Zwischenlagen	1,0 kg	10	1,00	10	4,2		4,0	0,4	0,40	1,0	17	0,0%	
1.1.1.	14	Holz	Formteile	1,0 kg	100	1,00	100	4,8		4,0	1,0	1,00	1,0	480	0,2%	
4.7.4.	15	Polypropylen	Zwischenlagen	1,0 kg	125	1,00	125	12,6		4,0	0,8	0,80	1,0	1.260	0,4%	
4.7.3.	16	Polyethylen	Folie	1,0 kg	125	1,00	125	12,2		4,0	1,1	1,10	1,0	1.678	0,6%	
4.7.2.	17	Polyethylen	Kleidungsträger	100,0 kg	42	1,00	4200	12,2		4,0	0,8	0,80	1,0	40.992	14,3%	
4.7.2.	18	Polyethylen	Abfallbehälter	15,0 kg	10	1,00	150	12,2		4,0	0,8	0,80	1,0	1.464	0,5%	
1.4.	19	Kleinformöbel	Tische, Stühle	1,0 kg	250	1,00	250	4,8		4,0	1,2	1,20	1,0	1.440	0,5%	
4.7.3.	20	Polyethylen	Folie	1,0 kg	50	1,00	50	12,2		4,0	1,1	1,10	1,0	671	0,2%	
2.2.3.	21	Karton	Verpackungen	1,0 kg	225	1,00	225	4,2		4,0	0,4	0,40	1,0	378	0,1%	
2.1.	22	Papier	Zettel, Unterlagen	1,0 kg	50	1,00	50	3,8		4,0	2,1	2,10	1,0	399	0,1%	
4.7.2.	23	Polyethylen	Schäferkisten	1,0 kg	150	1,00	150	12,2		4,0	0,8	0,80	1,0	1.464	0,5%	
2.1.	24	Papier	Zettel, Unterlagen	1,0 kg	250	1,00	250	3,8		4,0	2,1	2,10	1,0	1.995	0,7%	
6.13.	25	Hydrauliköl	an Maschinen	400,0 kg	11	1,00	4400	9,8		4,0	0,6	0,60	1,0	25.872	9,0%	
7.1.	26	Gummi	Schläuche an Maschinen	50,0 kg	11	1,00	550	12,2		4,0	0,4	0,40	1,0	2.684	0,9%	
9.1.	27	PVC	Kabel an Maschinen	100,0 kg	11	1,00	1100	5,0		4,0	0,5	0,50	1,0	2.750	1,0%	
1.2.	28	Spanplatten	Werkbänke	30,0 kg	10	1,00	300	4,8		4,0	0,2	0,20	1,0	288	0,1%	
4.7.3.	29	Polyethylen	Folie	1,0 kg	50	1,00	50	12,2		4,0	1,1	1,10	1,0	671	0,2%	
4.8.1.	30	ABS	an Monitoren	1,0 kg	125	1,00	125	9,9		4,0	0,9	0,90	1,0	1.114	0,4%	
4.1.1.	31	PMMA	Abdeckungen	1,0 kg	250	1,00	250	6,9		4,0	0,2	0,20	1,0	345	0,1%	
6.13.	32	Hydrauliköl	in Fässern	200,0 kg	2	1,00	400	9,8		4,0	0,6	0,60	1,0	2.352	0,8%	
1.2.	33	Spanplatten	Werkbänke	30,0 kg	12	1,00	360	4,8		4,0	0,2	0,20	1,0	346	0,1%	
	34	pauschal	Messbereiche	120,0 kg	10	1,00	1200	5,0		4,0	1,0	1,00	1,0	6.000	2,1%	
	35	pauschal	Büros 671 m <sup>2</sup>	2013,0 kg	5	1,00	10065	5,0		4,0	1,0	1,00	1,0	50.325	17,6%	
2.1.	36	Papier	Zettel, Unterlagen	1,0 kg	250	1,00	250	3,8		4,0	2,1	2,10	1,0	1.995	0,7%	
4.7.2.	37	Polyethylen	Schäferkisten	1,0 kg	195	1,00	195	12,2		4,0	0,8	0,80	1,0	1.903	0,7%	
2.2.3.	38	Karton	Verpackungen	1,0 kg	250	1,00	250	4,2		4,0	0,4	0,40	1,0	420	0,1%	
4.7.3.	39	Polyethylen	Folie	1,0 kg	37	1,00	37	12,2		4,0	1,1	1,10	1,0	497	0,2%	
4.7.4.	40	Kunststoff	Formteile	1,0 kg	75	1,00	75	12,6		4,0	0,8	0,80	1,0	756	0,3%	
7.1.3.	41	Gummi	Matten	1,0 kg	25	1,00	25	12,2		4,0	0,4	0,40	1,0	122	0,0%	
								31.718						177.717	62,0%	

Verteilt in Versuchshalle

Nr.	Lfd. Nr.	brennbarer Stoff	Art des Stoffes	Einzel	Einheit	Anzahl	Anteil	brennbare Stoffe kg	unterer Heizwert kWh/kg	Lagergut-höhe m	Lagergut-höhe maßg. m	m-Faktor bis 4,5 m	m-Faktor maßg.	$\psi$	bewertete Brandlast kWh	%
	42	pauschal	Kleinstapler	200,0 kg	1	1,00	200	10,0		4,0	1,0	1,00	1,0	2.000	0,7%	
	43	pauschal	Kleinstapler	200,0 kg	1	1,00	200	3,0		4,0	1,0	1,00	1,0	600	0,2%	
	44	pauschal	Reinigungsgeräte	60,0 kg	1	1,00	60	5,0		4,0	1,0	1,00	1,0	300	0,1%	
								460						2.900	1,0%	

### 10.2.1.2 Zusammenstellung rechnerischer Brandbelastung $q_{R,g}$

Nr.	Lfd. Nr.	brennbarer Stoff	Art des Stoffes	Einzel	Einheit	Anzahl	Anteil	brennbare Stoffe kg	unterer Heizwert kWh/kg	Lagergut- höhe m	Lagergut- höhe maßg. m	m-Faktor bis 4,5 m	m-Faktor maßg.	$\psi$	bewertete Brandlast kWh	%
DIN 18230-3	45	Getriebeöl	6 x 5000 l zu 75 % gefüllt	5000,0	kg	6	0,75	22500	9,8	4,5	4,5	0,6	0,60	0,8	105.840	36,9%
					kg			0			4,5		0,00	0,55	0	0,0%
					kg			0			4,5		0,00	0,55	0	0,0%
								22.500							105.840	36,9%

### 10.2.1.3 Zusammenstellung rechnerischer Brandbelastung $q_R$

Nr.						in %
u	Versuchshalle	$q_{R,u} =$	177.717 kWh	55,5	kWh/m <sup>2</sup>	62,04%
	Verteilt im Gebäude	$q_{R,u} =$	2.900 kWh	0,9	kWh/m <sup>2</sup>	1,01%
g	Versuchshalle	$q_{R,g} =$	105.840 kWh	33,1	kWh/m <sup>2</sup>	36,95%
		$q_R =$	286.457 kWh	89,5	kWh/m <sup>2</sup>	100,0%
zuzüglich:						
	- Sicherheitszuschlag	20%	57.291 kWh	17,90	kWh/m <sup>2</sup>	Länge: 80 m
	- Installation		16.000 kWh	5,00	kWh/m <sup>2</sup>	Breite: 40 m
	- Dachdämmung		3.200 kWh	1,00	kWh/m <sup>2</sup>	Fläche = 3.200 m <sup>2</sup>
<b>Summe =</b>			<b>362.948 kWh</b>	<b>113,42</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	

## 10.2.2 Berechnung nach DIN 18 230-1:1998-05

**Objekt:** Versuchshalle  
**Fa. Kurz**  
**Getriebe- und Zahnradfabrik**  
**Dieselstr. 2**  
  
**73084 Salach**

03.04.2004

### Allgemeine Angaben:

Länge l = 80,00 m  
 Breite b = 40,00 m Fläche = 3.200 m<sup>2</sup>  
 Höhe h = 7,00 m

gegebene Brandbelastung  $q_R$  = kWh/m<sup>2</sup> (z.B. nach Angabe)  
 berechnete Brandbelastung  $q_R$  = 113,42 kWh/m<sup>2</sup> (aus Brandlastermittlung)  
 Mindestbrandbelastung = 15 kWh/m<sup>2</sup>

### 1. maßgebende Brandbelastung

$q_R = 113,42 \text{ kWh/m}^2$

Anzahl der Geschosse: 1

Anzahl der Geschosse im BBA: 1

Werkfeuerwehr vorhanden: nein

Ein BBA gilt als eingeschossig, wenn die Flächen höher gelegener geschlossener Ebenen, wie Emporen, Galerien oder Bühnen, in ihrer Summe weniger als 50 % der Grundfläche des BBA betragen. (siehe Anhang D)

### 2. Umrechnungsfaktor c

Umrechnungsfaktor c nach Tabelle 1:

n (j= ja; n = nein)

Umrechnungsfaktor c nach Anhang D.12 berechnet:

j (j= ja; n = nein)

#### Umrechnungsfaktor c nach Anhang D.12

Bezeichnung	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Einflussgruppe	c	Produkt c * A	Erläuterung zu Einflussgruppe
Dach	3200,00	II	0,20	640,0	I : Bauteile bzw. Baustoffe mit großem Wärmeabfluß wie: Verglasungen, Aluminium, Stahl.
Dachverglasung	0,00	I	0,15	0,0	II : Bauteile bzw. Baustoffe mit mittlerem Wärmeabfluß wie:
Wände Beton	1530,00	II	0,20	306,0	Beton, Leichtbeton $\rho > 1000\text{kg/m}^3$ ,
Wände Mineralwolle	0,00	III	0,25	0,0	Kalksandstein, Mauerziegel,
Wandverglasung	150,00	I	0,15	22,5	Bauteile mit Putz.
Wände Kalksandstein	0,00	II	0,20	0,0	III : Bauteile bzw. Baustoffe mit geringerem Wärmeabfluß wie:
Summe:	4880,00			968,5	Baustoffe mit $\rho \leq 1000\text{kg/m}^3$ , Faserdämmstoffe, Porenbeton, Holz, Holzwolle-Leichtbauplatten, Leichtbeton, Dämmputz, mehrschichtige Bauteile.

$c = 968,5 / 4880 = 0,198 \text{ min m}^2 / \text{kWh}$

**maßgebend c = 0,198 min m<sup>2</sup> / kWh**

### 3. Wärmeabzugsfaktor w

Der Wärmeabzugsfaktor w ist insbesondere abhängig von dem Verhältnis der vertikalen Öffnungsflächen  $A_v$  bzw. der horizontalen Öffnungsflächen  $A_h$  zur Fläche des Brandbekämpfungsabschnittes  $A_B$ .

Als Wärmeabzugsfläche gilt die lichte Öffnung; vereinfacht dürfen auch angerechnet werden, die sich aus den Rohbaumaßen ergibt.

90% der Fläche



7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$A_{v,brutto}$	177,00	86,00		107,00		177,00	140,00	49,00		70,00		140,00
$A_{v,netto}$	159,30	77,40		96,30		159,30	126,00	44,10		63,00		126,00
$a_v$	0,050	0,024		0,030		0,050	0,039	0,014		0,020		0,039

$a_v$  immer: **0,050**      $a_v$   $t_{\ddot{a}} < 15\text{min}$ : **0,024**      $a_v$   $15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30$ : **0,030**      $a_v$   $t_{\ddot{a}} > 30\text{min}$ : **0,050**

$a_{v,i,oben}$ : 0,039      $a_{v,o,t_{\ddot{a}} < 15\text{min}}$ : 0,014      $a_{v,o,15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30}$ : 0,020      $a_{v,o,t_{\ddot{a}} > 30\text{min}}$ : 0,039

Ist  $a_{v,oben}$  erforderlich (wenn  $a_h \leq 0,005$ ) ?     =>     Nein, wird nicht benötigt.

Nein, wird nicht benötigt.

Nein, wird nicht benötigt.

Nein, wird nicht benötigt.

$a_{v,m,i}$ : 0,050      $a_{v,m,t_{\ddot{a}} < 15\text{min}}$ : 0,024      $a_{v,m,15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30}$ : 0,030      $a_{v,m,t_{\ddot{a}} > 30\text{min}}$ : 0,050

Bedingung:  $0,025 \leq a_v \leq 0,25$      =>     Berichtigung nicht notwendig.

Berichtigung von  $a_v$  ist notwendig!

Berichtigung nicht notwendig.

Berichtigung nicht notwendig.

$a_{vm,immer}$ : <b>0,050</b>	$a_{vm,t_{\ddot{a}} < 15\text{min}}$ : <b>0,025</b>	$a_{vm,15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30}$ : <b>0,030</b>	$a_{vm,t_{\ddot{a}} > 30\text{min}}$ : <b>0,050</b>
-------------------------------	---	--	---

Faktor  $\beta_w = 20,0 \cdot (1 + 10 \cdot a_v - 64 \cdot a_v^2) \geq 16$  (13)

$\beta_w = 26,78$	$\beta_w = 24,20$	$\beta_w = 24,86$	$\beta_w = 26,78$
-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Faktor  $w_o = (1,0 + 145,0 \cdot (0,40 - a_v)^4) / (1,6 + \beta_w \cdot a_h) \geq 0,5$  (11)

$w_o = 1,79$	$w_o = 2,20$	$w_o = 2,11$	$w_o = 1,79$
--------------	--------------	--------------	--------------

Faktor  $\alpha_w = (6,0 / h)^{0,3}$  (12)

$\alpha_w = 0,95$
-------------------

Faktor  $w = w_o \cdot \alpha_w \geq 0,5$  (10)

$w = 1,71$	$w = 2,10$	$w = 2,01$	$w = 1,71$
------------	------------	------------	------------

#### 4. Äquivalente Branddauer $t_{\ddot{a}}$

$$t_{\ddot{a}} = q_R \text{ [kWh/m}^2\text{]} \cdot c \text{ [min m}^2\text{/(kWh)]} \cdot w \text{ [-]} \quad (1)$$

$t_{\ddot{a},i} = 38,6 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 47,3 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 45,3 \text{ min}$	$t_{\ddot{a}} = 38,6 \text{ min}$
Soll:	$t_{\ddot{a}} < 15 \text{ min}$	$15 \leq t_{\ddot{a}} \leq 30$	$t_{\ddot{a}} > 30 \text{ min}$
Beurteilung:	nein	nein	ja
	47,3	45,3	38,6
$t_{\ddot{a}}$ maßgebend =	<b>38,6 min</b>	mit $w$ maßgebend = <b>1,71</b>	

#### 5. Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer (SK<sub>b</sub> 3)

$$\text{erf } t_F = t_{\ddot{a}} \cdot \gamma \cdot \alpha_L \quad (2)$$

##### 5.1 Sicherheitsbeiwert $\gamma$

Sicherheitsbeiwert  $\gamma$  wird gemäß Tabelle 2 der DIN 18230-1:1998-05 berechnet.

Maßgebend für die Berechnung sind:

Anzahl der Geschosse: 1  
 Fläche des BBA: 3.200 m<sup>2</sup>

**Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,014$**

## 5.2 Zusatzbeiwert $\alpha_L$

Zusatzbeiwert  $\alpha_L$  wird gemäß Tabelle 4 der DIN 18230-1:1998-05 berechnet.

Maßgebend für die Berechnung sind:

### 5.2.1 Werkfeuerwehr

(1 = ja; 0 = nein)

Status:	hauptberuflich:	<input type="text" value="0"/>
	nebenberuflich:	<input type="text" value="1"/>
Schichtstärke (Personen):	keine:	<input type="text" value="1"/>
	1 Staffel (6):	<input type="text"/>
	1 Gruppe (9):	<input type="text"/>
	2 Staffeln (12):	<input type="text"/>
	3 Staffeln (18):	<input type="text"/>
	4 Staffeln (24):	<input type="text"/>

### 5.2.2 Automatische Brandmeldeanlagen <sup>2)</sup>

Beinhaltet die Aufschaltung auf eine ständig besetzte Stelle.

### 5.2.3 Halbstationäre Löschanlagen <sup>1)</sup>

### 5.2.4 Selbsttätige stationäre Löschanlage <sup>2)</sup>

Zusatzbeiwert  $\alpha_L =$  0,90 Ist eine Abminderung mit geringer Brandbelastung zulässig?  
Nein, ist nicht zulässig.

Somit wird mit 100% von  $\alpha_L$  gerechnet.

**Zusatzbeiwert  $\alpha_{L, \text{maßgebend}} = 0,90$**

### Erforderlichen Feuerwiderstandsdauer (SK<sub>b</sub> 3)

erf  $t_F = t_{\bar{a}} \cdot \gamma \cdot \alpha_L$  mit  $t_{\bar{a}} = 38,6 \text{ min}$   
 $\gamma = 1,014$   
 $\alpha_L = 0,90$

erf  $t_F = 35,2 \text{ min}$

## 6. Ermittlung der Brandschutzklasse für SK<sub>b</sub> 3

Aus der rechnerisch erforderlichen Feuerwiderstandsdauer erf  $t_F$  für die Brandsicherheitsklasse SK<sub>b</sub> 3 wird die Brandschutzklasse des Brandbekämpfungsabschnitts nach Industriebaurichtlinie Tabelle 2 ermittelt.

erf $t_F$ für SK <sub>b</sub> 3 [min]	Brandschutzklasse BK
≤ 15	I
> 15 bis ≤ 30	II
> 30 bis ≤ 60	III
> 60 bis ≤ 90	IV
> 90	V

nach Tabelle 2 ergibt sich: **BK III**

**7. Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer für SK<sub>b,1</sub>**

Geringe Anforderungen an Bauteile, z. B.:

- Bauteile des Dachtragwerkes, sofern das Versagen einzelner Bauteile nicht zum Einsturz der übrigen Dachkonstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führt;
- nichttragende Außenwände einschließlich Brüstungen.

$$\text{erf } t_F = t_a * \delta * \alpha_L \qquad \delta \text{ SK}_b 1 = 0,500 \qquad \text{erf } t_F = 17,3 \text{ min} \quad \mathbf{F 30}$$

**8. Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer für SK<sub>b,2</sub>**

Mittlere Anforderungen an Bauteile, z. B.:

- Bauteile, deren Versagen nicht zum Einsturz der tragenden Konstruktion (Tragwerk, Gesamtkonstruktion) oder der Konstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führen kann, wie nichtaussteifende Decken;
- Bauteile des Dachtragwerkes, deren Versagen zum Einsturz der übrigen Dachkonstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führen kann;
- Feuerschutzabschlüsse, Rohrabschottungen, Kabelabschottungen und dergleichen in trennenden Bauteilen mit geforderter Feuerwiderstandsdauer;
- Lüftungsleitungen und dergleichen, die Bauteile mit geforderter Feuerwiderstandsdauer überbrücken, einschließlich Brandschutzklappen;
- Installationsschächte und -kanäle, die Bauteile mit geforderter Feuerwiderstandsdauer überbrücken;
- nichttragende Außenwände einschließlich Brüstungen im Anschluß an Brandbekämpfungsabschnittsdecken.

$$\text{erf } t_F = t_a * \delta * \alpha_L \qquad \delta \text{ SK}_b 2 = 0,600 \qquad \text{erf } t_F = 20,8 \text{ min} \quad \mathbf{F 30}$$

**9. Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer für SK<sub>b,3</sub>**

Hohe Anforderungen an Bauteile, z. B.:

- Wände und Decken, die Brandbekämpfungsabschnitte trennen;
- Tragende und aussteifende Bauteile, deren Versagen zum Einsturz der tragenden Konstruktion (Tragwerk, Gesamtkonstruktion) oder der Konstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führen kann;
- Lüftungsleitungen und dergleichen, die Brandbekämpfungsabschnitte überbrücken, einschließlich Brandschutzklappen;
- Installationsschächte und -kanäle, die Brandbekämpfungsabschnitte überbrücken;
- Feuerschutzabschlüsse, Rohrabschottungen, Kabelabschottungen und dergleichen in Bauteilen, die Brandbekämpfungsabschnitte trennen;
- Stützkonstruktionen von Behältern mit  $\psi < 1$ .

$$\text{erf } t_F = t_a * \gamma * \alpha_L \qquad \gamma \text{ SK}_b 3 = 1,014 \qquad \text{erf } t_F = 35,2 \text{ min} \quad \mathbf{F 60}$$

## 10.2.3 Bewertung nach der Industriebaurichtlinie

### 10.2.3.1 Abschnitt 6 - Verfahren ohne Brandlastermittlung

#### 1. Sicherheitskategorien:

Sicherheitskategorien sind Klassierungsstufen für die brandschutztechnische Infrastruktur. Sie ergeben sich aus den Vorkehrungen für die Brandmeldung, der Art der Feuerwehr und der Art einer Feuerlöschanlage. Sie werden wie folgt unterschieden:

(1 = ja; 0 = nein; Auswahl bei Zusatzbeiwert  $\alpha_L$ )

- K 1:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte ohne besondere Manahmen für Brandmeldung und Brandbekämpfung.
- K 2:**  1 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage.
- K 3.1:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage in Industriebauten mit Werkfeuerwehr in mindestens Staffelstärke; diese Staffel muss aus hauptamtlichen Kräften bestehen.
- K 3.2:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage in Industriebauten mit Werkfeuerwehr in mindestens Gruppenstärke.
- K 3.3:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage in Industriebauten mit Werkfeuerwehr mit mindestens 2 Staffeln.
- K 3.4:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit automatischer Brandmeldeanlage in Industriebauten mit Werkfeuerwehr mit mindestens 3 Staffeln.
- K 4:**  0 Brandabschnitte oder Brandbekämpfungsabschnitte mit selbsttätiger Feuerlöschanlage.

(Eine automatische Brandmeldeanlage kann, wenn durch ständige Personalbesetzung eine sofortige Brandentdeckung und Weitermeldung an die Feuerwehr sichergestellt ist, ersetzt werden.)

**Sicherheitskategorie** (mit der Auswahl unter 5.2 Zusatzbeiwert  $\alpha_L$ ) = **K 2**

Tabelle 1: Zulässige Brandabschnittsflächen und Anforderungen an Wände, Pfeiler und Stützen sowie an Decken und an das Haupttragwerk des Daches

Sicherheits- kategorie	Anzahl der Geschosse								
	erdgeschossig	2 geschossig			3 geschossig		4 geschossig	5 geschossig	
	Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile								
	F 0	F 30	F 30	F 60	F 90	F 60	F 90	F 90	F 90
K 1	1.800 <sup>1)</sup>	3.000	800 <sup>2)3)</sup>	1.600 <sup>2)</sup>	2.400	1.200 <sup>2)3)</sup>	1.800	1.500	1.200
K 2	2.700 <sup>1)</sup>	4.500	1.200 <sup>2)3)</sup>	2.400 <sup>2)</sup>	3.600	1.800 <sup>2)</sup>	2.700	2.300	1.800
K 3.1	3.200 <sup>1)</sup>	5.400	1.400 <sup>2)3)</sup>	2.900 <sup>2)</sup>	4.300	2.100 <sup>2)</sup>	3.200	2.700	2.200
K 3.2	3.600 <sup>1)</sup>	6.000	1.600 <sup>2)</sup>	3.200 <sup>2)</sup>	4.800	2.400 <sup>2)</sup>	3.600	3.000	2.400
K 3.3	4.200 <sup>1)</sup>	7.000	1.800 <sup>2)</sup>	3.600 <sup>2)</sup>	5.500	2.800 <sup>2)</sup>	4.100	3.500	2.800
K 3.4	4.500 <sup>1)</sup>	7.500	2.000 <sup>2)</sup>	4.000 <sup>2)</sup>	6.000	3.000 <sup>2)</sup>	4.500	3.800	3.000
K 4	10.000	10.000	8.500	8.500	8.500	6.500	6.500	5.000	4.000

<sup>1)</sup> Breite des Industriebaus  $\leq 40$  m und Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18 230-1)  $\geq 5$  %

<sup>2)</sup> Wärmeabzugsfläche (nach DIN 18 230-1)  $\geq 5$  %

<sup>3)</sup> Für Gebäude geringer Höhe ergibt sich nach § 25 Abs. 1 i. V. m. § 28 Abs. 1 Nr. 2 MBO eine zulässige Größe von 1.600 m<sup>2</sup>

Aus Spalte: **1 geschossig** und Sicherheitskategorie: **K 2** ergeben sich die zulässigen Brandabschnittsflächen und die erforderlichen Feuerwiderstandsdauer, in

F 0	F 30	
2.700	4.500	

zu m<sup>2</sup>.

**Bauweise in: F 0 ist nicht zulässig!**

**Bauweise in: F 30 ist zulässig**

<sup>1)</sup> vorh. Breite: 40,00 m Zulässig

<sup>1)2)</sup> vorh. Wärmeabzugsfläche: 5,63% Ausreichend

<sup>3)</sup> vorh. Fläche: 3.200 Für Gebäude geringer Höhe nicht zulässig!

### 10.2.3.2 Berechnung nach Abschnitt 7

Eine Berechnung nach Abschnitt 7 der MIndBauRL ist: **zulässig**  
da die rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer für die Brandsicherheitsklasse SK<sub>b</sub>3  
35,2 min. beträgt.

#### 1. Flächen von Brandbekämpfungsabschnitten

Die zulässige Fläche je Geschoss in einem ein- oder mehrgeschossigen Brandbekämpfungsabschnitt errechnet sich aus dem Grundwert für die Fläche von 3.000 m<sup>2</sup> mit den Faktoren F1 bis F5 gemäß Gleichung:

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 3.000 \text{ m}^2 * F1 * F2 * F3 * F4 * F5$$

(Die Summe der so ermittelten Geschoßflächen darf nicht mehr als 60.000 m<sup>2</sup> betragen.)

**Faktor F1** zur Berücksichtigung der äquivalenten Branddauer aus dem globalen Nachweis nach DIN 18230-1.

Tabelle 3:

t <sub>ä</sub>	0	15	30	60	≥ 90
F1	10	5	3	1,5	1

mit t<sub>ä</sub> = 38,6 min ergibt sich interpoliert F1 = 2,572

**Faktor F2** zur Berücksichtigung der brandschutztechnischen Infrastruktur.

Tabelle 4:

Sicherheitskategorie	K 1	K 2	K 3.1	K 3.2	K 3.3	K 3.4	K 4
F2	1,0	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	3,5

mit Sicherheitskategorie: K 2 ergibt sich F2 = 1,5

**Faktor F3** zur Berücksichtigung der Höhenlage des Fußbodens des untersten Geschosses von oberirdischen Brandbekämpfungsabschnitten im Gebäude bezogen auf die mittlere Höhe der für die Feuerwehr zur Brandbekämpfung anfahrbaren Ebene.

Tabelle 5:

Höhenlage [m]	-1	0	5	10	15	20
F3	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

mit Höhe des untersten oberirdischen BBA-Geschoß: 0,00 m  
ergibt sich F3 = 1,0

**Faktor F4** zur Berücksichtigung der Anzahl der Geschosse des Brandbekämpfungsabschnitts.

Tabelle 6:

Geschosse des BBA	1	2	3	4	5	6
F4	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3

angesetzt wird: 1 geschossiger BBA  
ergibt sich F4 = 1,0

**Faktor F5** zur Berücksichtigung der Ausführung von Öffnungen in Decken zwischen den Geschossen mehrgeschossiger Brandbekämpfungsabschnitte.

Tabelle 7:

Zeile	Öffnungen in Decken	Faktor F5
1	mit klassifizierten Abschlüssen bzw. Abschottungen	1,0
2	mit nichtbrennbaren Baustoffen dicht geschlossen	0,7
3	gleich groß und übereinanderliegend in allen Decken und im Dach, größer als 10 % der Deckenfläche der Geschosse	0,4
4	zur Durchführung von technischen Einrichtungen, $A_{\text{Öffnung}} \leq 30 \%$ , Deckenspalte max. 2 % von $A_{\text{Öffnung}}$	0,3
5	die von Zeile 1 bis 4 nicht erfaßt sind	0,2

mit Öffnungen in Decken wird angesetzt Zeile: **1**  
ergibt sich  $F5 = 1,0$

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 3.000 \text{ m}^2 * F1 * F2 * F3 * F4 * F5$$

$$\text{zul } A_{G,BBA} = 11.574 \text{ m}^2$$

## 2. Erforderliche Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen

Bauteile zur Trennung von Brandbekämpfungsabschnitten und Bauteile, die diese trennenden Bauteile unterstützen und aussteifen, müssen so beschaffen sein, dass sie bei einem Brand ihre Standsicherheit nicht verlieren und die Ausbreitung von Feuer und Rauch auf andere Brandbekämpfungsabschnitte verhindern. Die rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer  $t_F$  muß mindestens der äquivalenten Branddauer  $t_a$  entsprechen. Diese Bauteile müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

$$t_a = 38,6 \text{ min}$$

$$\text{erf } t_F = 35,2 \text{ min}$$

$$\text{maßgebend ist somit: } 38,6 \text{ min}$$

Tabelle 8: Erforderliche Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen

rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer erf $t_F$ nach DIN 18230-1 [min]	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen, die BBA's trennen oder überbrücken, und von Abschlüssen	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen in der Brandsicherheitsklasse SK <sub>b</sub> 3, die nicht in Spalte 2 einzuordnen sind	Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 von Bauteilen in der Brandsicherheitsklasse SK <sub>b</sub> 2 und SK <sub>b</sub> 1
1	2	3	4
$\leq 15$	F 30-A <sup>1)</sup> T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30	keine Anforderungen	keine Anforderungen
$> 15 \text{ bis } \leq 30$	F 30-A <sup>1)</sup> T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30	F 30 - AB <sup>2) 3)</sup>	F 30 - B T 30 R 30, S 30 K 30, L 30, I 30
$> 30 \text{ bis } \leq 60$	F 60-A <sup>1)</sup> T 60 R 60, S 60 K 60, L 60, I 60	F 60 - AB <sup>2) 3)</sup>	F 60 - B T 60 R 60, S 60 K 60, L 60, I 60
$> 60 \text{ AB}^4)$	F 90-A <sup>1)</sup> T 90 R 90, S 90 K 90, L 90, I 90	F 90 - AB <sup>3)</sup>	F 90 - B T 90 R 90, S 90 K 90, L 90, I 90

- 1) Die Wände sind nach DIN 4102 Teil 3 Abschnitt 4.3 zu prüfen. Dabei sind die Bedingungen in den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.4 von DIN 4102 Teil 3 einzuhalten.
- 2) Für Bauteile in Industriebauten bis zu 2 Geschossen in F 30-B bzw. F 60-B.
- 3) F 30, F 60, F 90 mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen.
- 4) Die Werte der Spalte 2 bis 4 gelten auch für eine rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer erf tF von mehr als 90 Minuten, die sich insbesondere aus einem Teilflächennachweis ergeben können.

**Die Abtrennung der Brandbekämpfungsabschnitte muss nach Spalte 2 in den Feuerwiderstandsklassen**

**F 60-A 1)  
T 60  
R 60, S 60  
K 60, L 60, I 60**

**und aus nichtbrennbaren Baustoffen ausgeführt werden.**

**Die tragenden Bauteile** sind entsprechend der Tabelle 8 Spalte 3

in **F 60 - AB 2) 3)** auszuführen.

Die **Bauteile in der Brandsicherheitsklasse SK<sub>b</sub>2 und SK<sub>b</sub>1** sind ebenfalls entsprechend Tabelle 8 Spalte 4 in den Feuerwiderstandsklassen

**F 60 - B  
T 60  
R 60, S 60  
K 60, L 60, I 60** auszuführen.

### 10.2.3.3 Bewertung nach Tabelle 9

#### 3. Brandbekämpfungsabschnitte ohne Bemessung der Bauteile

Erdgeschossige Industriebauten sind, sofern es sich nicht bereits aus den Regelungen nach Abschnitt 7.5.1 ergibt, ohne Anforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Bauteile zulässig, wenn die Flächen des Brandbekämpfungsabschnitts nicht größer, die Wärmeabzugsflächen im Dach (in von 100 bezogen auf die Fläche des Brandbekämpfungsabschnitts) nicht kleiner und die Breite des Industriebaus nicht größer sind als die Werte der Tabelle 9 und bei der Berechnung nach DIN 18230-1 eine äquivalente Branddauer von weniger als 90 min berechnet wird. Dies gilt nicht für Bauteile zur Trennung von Brandbekämpfungsabschnitten.

Tabelle 9: Zulässige Größe der Fläche

Sicherheitskategorie	äquivalente Branddauer $t_a$ [min]			
	15	30	60	90
K 1	9.000	5.500	2.700	1.800
K 2	13.500	8.000	4.000	2.700
K 3.1	16.000	10.000	5.000	3.200
K 3.2	18.000	11.000	5.400	3.600
K 3.3	20.700	12.500	6.200	4.200
K 3.4	22.500	13.500	6.800	4.500
K 4 <sup>1)</sup>	30.000	20.000	10.000	10.000
Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen nach DIN 18230-1 [%]	1	2	3	4
Zulässige Breite des Industriebaus [m]	80	60	50	40

<sup>1)</sup> Die Anforderungen hinsichtlich der Wärmeabzugsfläche und der Breite des Industriebaus gelten nicht für Brandbekämpfungsabschnitte der Sicherheitskategorie K 4.

Mit geg.  $t_a =$  **38,6 min** und Sicherheitsklasse **K 2** ergeben sich aus Tabelle 9

a) eine zulässige Größe der Fläche ohne Bemessung der Bauteile von: **6.859,6 m<sup>2</sup>**  
 vorh: 3.200 m ist möglich.

b) die Mindestgröße der Wärmeabzugsflächen nach DIN 18230-1 von: **2,29 %**  
 vorh: 5,63 % ist ausreichend vorhanden.

c) die zulässige Breite des Industriebaus von: **57,15 m**  
 vorh: 40,00 m ist zulässig.

d) Anzahl der Geschosse: 1 geschossiger Industriebau.  
 somit ist Tabelle 9: anwendbar.

**Der Brandbekämpfungsabschnitt ist ohne Bemessung der Bauteile: möglich.**

## 10.2.4 Berechnung nach DIN 18232-2:2003-06

**Objekt:** Versuchshalle  
 Fa. Kurz  
 Getriebe- und Zahnradfabrik  
 Dieselstr. 2  
 73084 Salach

03.08.2004

### 1. Allgemeine Angaben:

Länge  $l = 80,00$  m (maximale Länge  $l_{AR} = 40$  m, wenn  $A \leq 1.600$  m<sup>2</sup>)  
 Breite  $b = 40,00$  m Fläche  $A = 3.200$  m<sup>2</sup>  
 Höhe  $h = 7,00$  m

Die angestrebte Höhe der raucharmen Schicht  $d$  muss mindestens 2,50 m betragen.

Gewählte Höhe  $d = 4,00$  m Dabei sollte ein Abstand der zu schützenden Gegenstände zur Rauchschiicht von mind. 0,5 m eingehalten werden.

$z$  Höhe der Rauchschiicht ( $h-d$ ) = 3,00 m  
 $h_{sch}$  Höhe der Rauchschiürze = 3,5 m

### 2. Rauchabschnittsfläche:

Die Bemessung der NRA nach dieser Norm setzt voraus, dass die Räume entweder  $\leq 1.600$  m<sup>2</sup> groß sind oder durch Rauchschiürzen in maximal 1.600 m<sup>2</sup> große Rauchabschnittsflächen  $A_R$  unterteilt werden. Der maximale Abstand zwischen den Rauchschiürzen bzw. zwischen Wand und Rauchschiürzen darf 60 m nicht überschreiten.

Anzahl der Rauchabschnittsflächen: 2  
 Rauchabschnittsflächen gleichmäßig verteilt  $A_R = 1.600$  m<sup>2</sup>

$A_{W i}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{W ges}$ [m <sup>2</sup> ]	% A
8	16	0,50

oder 2 mal zu 1.600 m<sup>2</sup>  
 und 0 mal zu 0 m<sup>2</sup>.

8	16	% A
0	0	0,50

### 3. Zuluftflächen:

Ausreichende Zuluftflächen  $A_{zu}$  im unteren Teil der Außenwand sind als bodennahe Nachströmflächen immer erforderlich. Die notwendige Zuluftfläche ist nach der größten Rauchabschnittsfläche festzulegen. Diese errechnete Fläche ist den Außenwänden des Raumes einzuplanen. Die Eintrittsöffnungen der Zuluft sollten an mindestens zwei Gebäudeseiten angeordnet und gleichmäßig verteilt werden.

Als Zuluftöffnungen gelten:

- Eigenständige Zuluftöffnungen
- Tore, Türen oder Fenster, wenn sie entsprechend als "Zuluftöffnung für NRA" von innen und außen mit Schildern entsprechend DIN 4066 gekennzeichnet sind und zerstörungsfrei von außen geöffnet werden können.

Die Zuluftöffnungen müssen unverzüglich (z.B. automatisch, durch Werkfeuerwehr, durch betriebliche oder organisatorische Vorkehrungen) nach Auslösen der NRA geöffnet werden können.

Die wirksame Fläche der **Zuluftöffnungen muss mindestens das 1,5-fache** der **nach Tabelle 3 erforderlichen** aerodynamisch wirksamen **Öffnungsflächen aller NRA-Öffnungen** der größten Rauchabschnittsfläche des Raumes betragen.

Eine Reduzierung der Zuluftflächen bis auf das 1-fache der in Tabelle 3 angegebenen Werte ist zulässig, wenn dabei die nach Tabelle 3 notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche der NRA für alle Rauchabschnittsflächen des Raumes um 50 % erhöht werden. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Diese Reduzierung der Zuluftflächen bei entsprechend gleichzeitiger Vergrößerung der Rauchabzugsfläche der NRA ist nur zulässig, wenn die Zuluft bodennah horizontal eintritt und die Oberkante der Zuluftöffnungen zur Rauchschichtgrenze einen Abstand von mindestens 2 m aufweisen.

Zur Ermittlung der wirksamen Fläche einer Zuluftöffnung ist bei den nachfolgend benannten Arten die jeweilige Rohbauöffnung mit einem Faktor  $c_z$  nach Tabelle 1 zu korrigieren.

**Tabelle 1 - Korrekturfaktoren  $c_z$**

Öffnungsart	Öffnungswinkel $\pm 5^\circ$	Korrekturfaktor $c_z$
Tür- oder Toröffnungen, Maschengitter		0,7
öffnbare Jalousien	90°	0,65
Dreh- oder Kippflügel	90°	0,65
Dreh- oder Kippflügel	$\geq 60^\circ$	0,5
Dreh- oder Kippflügel	$\geq 45^\circ$	0,4
Dreh- oder Kippflügel	$\geq 30^\circ$	0,3

#### Vertikale Öffnungsflächen

Nr.	Stk	Rohbaumaße			A (roh) [m <sup>2</sup> ]	$c_z$ [-]	A (wirksam) [m <sup>2</sup> ]	Bezeichnung und Lage
		Breite [m]	Höhe [m]	BH [m]				
1	0	1,0	2,0	0,0	0	0,7	0,00	Türen Tore
2	3	3,0	3,0	0,0	27	0,7	18,90	
3					0		0,00	
4					0		0,00	
5					0		0,00	
6					0		0,00	
7					0		0,00	
8					0		0,00	
9					0		0,00	
10					0		0,00	
		max $h_v = 3,0$ m			$\Sigma = 18,90$ m <sup>2</sup>		erforderlich bei $F = 1,5$ : 12 m <sup>2</sup>	

Die Oberkante der Zuluftöffnung muss zur Unterseite der Rauchschicht einen Abstand von mindestens 1,00 m aufweisen. Im Bereich von Türen oder Fenstern mit maximal 1,25 m Breite darf dieser Abstand auf 0,50 m reduziert werden. Bei einer Reduzierung des Zuluftverhältnisses < 1,5-fache (siehe oben), muss ein Abstand von mindestens 2 m eingehalten werden.

#### 4. Brandentwicklungsdauer:

Die in dieser Norm anzusetzende **Brandentwicklungsdauer** (siehe Tabelle 2) umfasst die **Zeitspanne von der Brandentstehung bis zum Beginn der Brandbekämpfung**.

Die Zeit von der **Brandentstehung** bis zur **Brandmeldung** ist mit **10 min** anzusetzen.

- Sie bleibt **bei Vorhandensein einer Brandmeldeanlage mit automatischen Brandmeldern** (siehe DIN VDE 0833-2), die auf die Brandkenngroße Rauch ansprechen, **unberücksichtigt**. Die Brandmeldung muss zu einer hilfeleistenden und ständig besetzten Stelle bzw. Feuerwehr weitergeleitet werden.
- Sie bleibt **ebenfalls unberücksichtigt**, wenn in dem Raum durch **ständige und dauerhafte Personalbesetzung** eine sofortige **Brandentstehung** und **Weitermeldung an die Feuerwehr sichergestellt** ist.

- Sie ist bei **Vorhandensein** einer Auslösung der NRA mit **automatischen Brandmeldern** nach DIN EN 54-7, die auf die Kenngröße Rauch ansprechen, mit **5 min** anzusetzen. Dabei genügt ein Rauchmelder je 200 m<sup>2</sup> Rauchabschnittsfläche, bei linienförmigen Rauchmeldern genügt ein Linienabstand von 10 m.

Für die Zeit von der **Brandmeldung bis** zum Beginn der **Brandbekämpfung**.

- Bei günstigen Verhältnissen (Werkfeuerwehr max 5 min bis zur Einsatzstelle) 5 min
- Bei mittleren Verhältnissen 10 min
- Bei ungünstigen Verhältnissen 15 min
- Bei außergewöhnlich ungünstigen Verhältnissen 20 min

Für die Berechnung werden:

- für die Brandentstehung bis zur Brandmeldung: 0 min
- für die Brandmeldung bis zur Brandbekämpfung: 10 min angesetzt.

Die **Brandentwicklungsdauer** beträgt somit **10 min.**

**5. Rechnerische Brandfläche, Bemessungsgruppe:**

Die rechnerische Brandfläche ergibt sich aus der Brandausbreitungsgeschwindigkeit und der anzusetzenden Brandentwicklungsdauer. Der Bemessungsgruppe entspricht eine rechnerische Brandfläche (siehe Tabelle 2 und Tabelle B.1).

Bei unterschiedlichen Nutzungen in den einzelnen Rauchabschnitten innerhalb eines Raumes mit daraus resultierenden wesentlich unterschiedlichen Brandausbreitungsgeschwindigkeiten ist für die Bemessung grundsätzlich die höchste Brandausbreitungsgeschwindigkeit zu wählen.

Brandausbreitungsgeschwindigkeit:

- besonders gering bei brennbaren Stoffen in nichtbrennbaren Verpackungen
- mittel in der Regel anzusetzende Ausbreitungsgeschwindigkeit
- besonders groß bei leicht entflammbare Stoffen mit brennbarer Verpackung

Gewählt:

- 0
- 1
- 0

( 1 = Ja; 0 = Nein)

**Auszug aus Tabelle 2 - Bemessungsgruppen**

Anzusetzende Brandentwicklungsdauer	Bemessungsgruppe bei einer Brandausbreitungsgeschwindigkeit		
	besonders gering	mittel <sup>a</sup>	besonders groß
min			
≤ 10	2	3	4

**BMG: 3 nach Tabelle 2.**

Ist eine flächendeckende automatische Sprinkleranlage installiert? **0** ( 1 = Ja; 0 = Nein)

Die Bemessungsgruppe 3 kann nicht auf 3 abgemindert werden.

Somit **Bemessungsgruppe: 3 maßgebend.**

**6. Rauchabzugsflächen in Dächern:**

**Auszug aus Tabelle 3 - Notwendige Rauchabzugsfläche  $A_W$  in  $m^2$  je Rauchabschnitt**

Raumhöhe <sup>a</sup> <i>h</i> in m	Höhe der Rauchschicht <i>z</i> in m	Höhe der raucharmen Schicht <sup>a</sup> <i>d</i> in m	Bemessungsgruppe				
			1	2	3	4	5
7,0	3,0	4,0	4,1	6,0	8,0	10,2	13,5

Die gesamte notwendige aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche  $A_W$  der NRA für jede Rauchabschnittsfläche  $A_R$  beträgt:

$$A_W = 8 \text{ m}^2$$

Ausreichende Zuluftflächen  $A_{zu}$  mit Faktor **1,5** ergeben = **12 m<sup>2</sup>**  $A_{zu}$  ausreichend?  
Ja

$$A_W \text{ maßg.} = 8 \text{ m}^2$$

Abstand der Zuluftöffnungen zur Unterseite der Rauchschicht: 1 m vorhanden.  
Im Bereich von Türen oder Fenstern mit maximal 1,25 m Breite: 0,5 m vorhanden.

**7. Erleichterungen:**

Für Räume von mindestens 9,0 m Höhe und über 1 600 m<sup>2</sup> Fläche darf ab Bemessungsgruppe 4 bei einer mindestens 1,0 m hohen Rauchschürze je 1 600 m<sup>2</sup> eine der beiden in a) und b) beschriebenen Erleichterungen gewählt werden.

Prüfung, ob Erleichterung möglich:

- Höhe Nicht ausreichend.
- Fläche Ja, vorhandene Fläche ausreichend.
- Bem. Gruppe Nicht möglich.

Die Möglichkeit einer Erleichterung ist somit **nicht gegeben**.

a) Erleichterung A: Überschreitung der Rauchabschnittsfläche

Die maximale Größe des einzelnen Rauchabschnittes kann von 1 600 m<sup>2</sup> auf maximal 2 600 m<sup>2</sup> vergrößert werden, wenn die aerodynamisch wirksame Rauchabzugsfläche nach Tabelle 3 für jede ab 1 600 m<sup>2</sup> angefangene 100 m<sup>2</sup> um 10 % erhöht wird.

Wird Erleichterung A gewählt: **nein** (ja oder nein) <-- Darf nicht ausgewählt werden!

vorh. $A_R = 1.600 \text{ m}^2$				$A_{Wi} = 8 \text{ m}^2$						
gew. max $A_R = 2.600 \text{ m}^2$	Überschreitung	1.000 m <sup>2</sup>	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">10</td> <td style="padding: 2px;">x 10%=</td> <td style="padding: 2px;">1,0</td> </tr> </table>	10	x 10%=	1,0	$8 \text{ m}^2$			
10	x 10%=	1,0								
				$A_{Wi} \text{ neu} = 16,0 \text{ m}^2$						
Fläche A = 3.200 m <sup>2</sup>	somit	0	Rauchabschnittsflächen	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>A_{Wi}</math></td> <td style="padding: 2px;"><math>A_{W \text{ ges}}</math></td> <td style="padding: 2px;">% A</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">16,0</td> <td style="padding: 2px;">0,0</td> <td style="padding: 2px;">0,00</td> </tr> </table>	$A_{Wi}$	$A_{W \text{ ges}}$	% A	16,0	0,0	0,00
$A_{Wi}$	$A_{W \text{ ges}}$	% A								
16,0	0,0	0,00								

## b) Erleichterung B: kleinere Rauchschürzenhöhe

Kann z.B. aus betrieblichen Gründen die den Rauchabschnitt von maximal 1 600 m<sup>2</sup> begrenzende Rauchschürze nicht mit mehr als 1 m (Mindestwert) realisiert werden, dürfen die in Tabelle 3 angegebenen A<sub>w</sub>-Werte bei Vorhandensein von mehr als einem Rauchabschnitt auf jeweils 50 m<sup>2</sup> aerodynamisch wirksamer Rauchabzugsfläche je Rauchabschnitt begrenzt werden, wenn

- insgesamt mindestens der in der Tabelle 3 angegebene A<sub>w</sub>-Wert im Raum erreicht wird, und
- alle NRA der benachbarten Rauchabschnitte über die Handauslösestelle des betroffenen Rauchabschnittes mit geöffnet werden, da eine Unterströmung der Rauchschürze zu erwarten ist, und
- die Zuluftfläche mindestens auf den in Tabelle 3 genannten A<sub>w</sub>-Wert angestimmt wird.

Wird Erleichterung B gewählt:  ja  nein (ja oder nein)

<-- Darf nicht ausgewählt werden!

				Bedingung erfüllt?
Rauchabschnitt	≤ 1.600 m <sup>2</sup>			ja
<b>Rauchschürze</b>	<b>1,0 m</b>			ja
Anzahl Rauchabschnitte	2			ja
A <sub>wi</sub> nach Tabelle 3	8,0 m <sup>2</sup>	<b>Maßgebend A<sub>wi</sub> =</b>	<b>50,0 m<sup>2</sup></b>	
<b>A<sub>w ges</sub> =</b>	<b>100,0 m<sup>2</sup></b>	mindestens	8,0 m <sup>2</sup>	ja
Gemeinsame Auslösung aller NRA				<input checked="" type="checkbox"/> ja (ja oder nein)
Zuluftfläche vorh =	18,90 m <sup>2</sup>	mindestens	8 m <sup>2</sup>	ja
Erleichterung nicht gewählt.				
	A <sub>wi</sub> =	50 m <sup>2</sup>		
	A <sub>w ges</sub> =	100 m <sup>2</sup>		

## 8. Einbau:

Die in diesem Dokument berechneten und verfassten Texte ersetzen nicht die DIN 18 232-2 in ihrer ursprünglichen Form. Im Zweifel gilt der Originaltext.

NRA sind für den in DIN 18 232-1 genannten Zweck ausreichend brauchbar und zuverlässig, wenn sie die im Anhang A gestellten Anforderungen erfüllen und auch nach dem sonstigen Verhalten bei diesen Prüfungen keinen Anlass zu Bedenken geben.

Regeln für den Einbau: (Auszüge aus DIN 18 232-2m, 7.2 ff)

Die NRA sind möglichst gleichmäßig verteilt innerhalb des Rauchabschnittes anzuordnen. Sind ausgeprägte Überdruckgebiete auf dem Dach bei gegebener Form und Lage des Gebäudes durch Windeinflüsse zu erwarten (z.B. bei Fallwinden, bedingt durch Gebäudeinterferenzen, oder bei Dächern mit einer Dachneigung  $\geq 25^\circ$ ), so dürfen dort keine NRA eingebaut werden, die den dadurch bedingten Anforderungen nicht genügen.

Werden in Dachteilflächen, in denen Sogspitzen auftreten können, NRA eingebaut, ist deren Standsicherheit für Windlasten gesondert nachzuweisen.

Im Allgemeinen ist es zweckmäßiger, eine größere Anzahl kleinerer NRA als eine kleinere Anzahl größerer NRA vorzusehen.

Es muss bei der Rauchableitung über Dachöffnungen mindestens ein NRA je 200 m<sup>2</sup> Bodenfläche vorhanden sein.

Maximale Seitenlänge bzw. der Durchmesser des NRA: 3 m

Kleinste Seitenlänge bzw. der Durchmesser des NRA: 1 m

Maßgebend ist jeweils die Decken- bzw. Wandöffnung.

Bei NRA sollte die kleinere Seitenlänge den Wert  $1,5z^{(1/2)}$  nicht überschreiten: 2,60 m

Außerdem dürfen für im Dach eingebaute NRA zwischen äußeren NRA und Außenwand 10 m nicht überschritten und 5 m nicht unterschritten werden. Die Abstände von NRA untereinander dürfen maximal 20 m betragen. Der Mindestabstand von NRA zueinander darf 4 m nicht unterschreiten. Die Abstände werden jeweils am äußeren Rand der Austrittsöffnung bestimmt.

Andere Bauteile dürfen den Öffnungsvorgang der NRA nicht beeinträchtigen und ihre geometrische Öffnungsfläche nicht verringern.

Rauchschürzen müssen E DIN EN 12101-1 entsprechen.

## 9. Zusammenwirken mit Löschanlagen:

Grundsätzlich ist die Kombination von Wasserlöschanlagen (Sprinkler) und NRA sinnvoll, da diese Anlagen durch ihre verschiedenen Wirkungsweisen unterschiedliche und sich ergänzende Beiträge zur Erreichung bestimmter Schutzziele leisten. In wenigen Einzelfällen sind der gemeinsamen Anwendung jedoch Grenzen gesetzt.

NRA, die über Fernauslösung (Handauslösevorrichtung), oder automatisch über Wärme und gegebenenfalls auch zusätzlich über Rauch ansprechende Auslöser öffnen, dürfen im Regelfall mit Sprinkler- oder Sprühwasserlöschanlagen kombiniert werden. Bei thermischen Auslösern darf die NRA im Regelfall mit gleichen Auslösetemperaturen ausgestattet werden wie die von Wasserlöschanlagen.

**10. Kennzeichnung:** siehe DIN 18 232-2, 9.

## 11. Prüfung, Wartung und Instandsetzung:

Prüfung:

Nach Fertigstellung oder Änderung müssen NRA mit ihren Betätigungs- und Steuerelementen, Öffnungsaggregaten, Energiezuleitungen und ihrem Zubehör (zusammen das NRA-System) auf Übereinstimmung mit dieser Norm, auf Funktionsfähigkeit und Betriebsbereitschaft geprüft werden. Hierüber ist vom jeweiligen Errichter eine Bescheinigung auszustellen.

Wartung:

Nach Angaben des Herstellers, im Regelfall 1-mal im Jahr,...

Wartungsarbeiten dürfen nur von für die NRA qualifizierten Fachfirmen durchgeführt werden.

Die Prüfungen und Wartungen sind im Prüfbuch zu vermerken.

Instandhaltung:

Nach Feststellung von Funktions- oder Betriebsbereitschaftsstörungen ist die NRA unverzüglich von für die NRA qualifizierten Fachfirmen instand zu setzen.

Die Instandsetzung ist im Prüfbuch zu vermerken.

## 12. Anforderungen nach Anhang A:

Allgemeines:

NRA für den Einbau in horizontalen, geneigten oder vertikalen Flächen sind brauchbar und zuverlässig, wenn sie die in diesem Anhang gestellten Anforderungen erfüllen und auch nach dem sonstigen Verhalten bei diesen Prüfungen keinen Anlass zu Bedenken geben.

Die Prüfung der NRA für den Einbau in Dächer erfolgt nach DIN 18232-3.

Werden elektromagnetische Antriebe zur Öffnung der NRA eingesetzt, müssen diese Antriebe zusätzlich VdS 2580:2002-09 entsprechen. Die Systeme müssen nach VdS 2594:2002-09 auf Kompatibilität beprüft werden.

Korrosions- bzw. Alterungsbeständigkeit:

NRA bzw. ihre Teile müssen so beschaffen sein, dass die Funktionsfähigkeit der NRA nicht durch Korrosion oder Alterung beeinträchtigt wird.

Funktionssicherheit: siehe DIN 18 232-2, A.3

Auslösung/Ansteuerung:

NRA müssen sowohl mit einer Vorrichtung (Handauslösevorrichtung) für eine Fernauslösung als auch mit einem automatisch wirkenden Auslösern ausgerüstet sein. Weitere Anforderungen siehe DIN 18 232-2, A.4.

Verhalten im Brandversuch: siehe DIN 18 232-2, A.5

Brandverhalten:

NRA müssen aus Baustoffen mind. Der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102-1 hergestellt werden.

### 10.3 Versicherung über die selbständige Abfassung der Diplomarbeit

**Michael Kurz**

**423 580**

**Bauingenieurwesen 10**

-----  
Name des Studierenden (Druckschrift)

-----  
Matrikel-Nr.

-----  
Studiengang und Semester

#### Versicherung über die selbständige Abfassung der Diplomarbeit

Hiermit versichere ich nach §27 (1) der SPO, dass ich meine Diplomarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Salach, den 28.10.2004

-----  
Unterschrift

## 10.4 CD-Rom mit Diplomdateien

Inhalt der CD-Rom:

- Diplomarbeit als pdf-Datei,
- Abbildungen und Tabellen der Diplomarbeit.

Nicht enthalten sind:

- die erstellten Berechnungsblätter der IndBauRL, DIN 18 230 und DIN 18 232,
- die zur Verfügung gestellten Versuchsergebnissen aus Leipzig,
- die Datensätze von MRFC (werden nur an Anwender weitergegeben).

Falls hier keine CD-Rom enthalten ist,  
handelt es sich hier um eine Kopie der Originalfassung.  
Wenn Sie die Abbildungen und Tabellen benötigen,  
werde ich Ihnen diese zusenden.

Kontaktadresse:

Michael Kurz

Dieselstr. 8

73084 Salach

[michael.kurz.salach@t-online.de](mailto:michael.kurz.salach@t-online.de)